

Eetu-Veikko Nisula

Valaistuksen ohjaus – DMX512 näyttämöiden ulkopuolella

DMX512-ohjausprotokollan asema kiinteistöjen valaistuksessa ja rakennusautomaatiossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

24.8.2017

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Eetu-Veikko Nisula Valaistuksen ohjaus – DMX512 näyttämöiden ulkopuolella 88 sivua + 3 liitettä 24.8.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Koneautomaatio
Ohjaajat	Lehtori Antti Liljaniemi Tekninen johtaja Jarkko Turunen
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Assemblin Oy:n toimeksiantona. Työssä käsiteltiin valaistuksen ohjausta eri näkökulmista ja tutkittiin DMX512-valaistuksen ohjausprotokollan ominaisuuksia sekä soveltuvuutta kiinteistön valaistusratkaisuun myös rakennusautomaatioon integroituna. Lisäksi työhön kuuluu vertailu DMX512:n ja DALI:n välillä. Valaistustarkoituksiin luotu DALI on maailmanlaajuisesti käytetty ohjausprotokolla, jonka vahva asema kiinteistöjen valaistuksen piirissä on kiistaton. Insinöörityön tavoitteeksi asetettiin esittää kattavasti tietoa DMX512:sta yrityksen tarpeisiin sekä kartoittaa protokollan soveltamismahdollisuuksia kiinteistöjen valaistuksessa.</p> <p>Työssä selvitettiin valaistusalan vaikuttajia niin laitevalmistajina kuin kehittäjinäkin toimivien yritysten ja tekniikkaa standardoivien järjestöjen puolesta. Tutkimustyö tehtiin paneutuen kirjallisuuteen ja verkkoaineistoihin, unohtamatta ammattilaisten haastatteluita ja sähköpostikeskusteluja. Tutkimus painotettiin kiinteistöjen valaistukseen teatteri- ja viihdemaa- ilman valaistuksen sijaan.</p> <p>Työhön sisällytettiin tietoa valaistuksen ohjauksesta ja pohdintaa sen roolista energiatehokkuudessa. Lisäksi työssä käsiteltiin valaistuksen osuutta rakennusautomaatiojärjestelmästä, mitä edellä mainitut tiedot pohjustavat. Työn valokeila kohdistettiin DMX512-protokollaan ja DALI-vertailuun, mitkä antavat vastauksen sellaisiin kysymyksiin kuten ”mikä DMX512 on ja mihin se soveltuu” sekä ”miten DMX512 eroaa DALI:sta ja voiko eroa hyödyntää”.</p> <p>Tuloksista voidaan päätellä, että varustamalla sovelluskohde sekä DMX512- että DALI-protokollalla valaistusjärjestelmään saadaan aikaan molempien vahvuuksia hyödyntävä ratkaisu. Valaistusjärjestelmän turha monimutkaistaminen ja perusteeton rakennusautomaatioon yhdistäminen nähdään kuitenkin epäedullisena ratkaisuna niin loppukäyttäjien kuin ylläpitäjienkin puolesta.</p> <p>Insinöörityön tulosten merkitys korostuu valaistukseen kohdistuvien yksilöllisten vaatimusten yleistyessä sekä kaupallisen ja arkkitehtonisen valaistuksen limittyessä viihde- ja erikoisvalaistukseen, kuten rakennusten julkisivuihin.</p>	
Avainsanat	DMX, valaistuksen ohjaus, rakennusautomaatio, DALI

Author Title	Eetu-Veikko Nisula Lighting Control – DMX512 Outside of Stage Lighting
Number of Pages Date	88 pages + 3 appendices 24 August 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Machine Automation
Instructors	Antti Liljaniemi, Senior Lecturer Jarkko Turunen, CTO
<p>This Bachelor's thesis was commissioned by Assemblin Oy. The study deals with the principles of lighting control and examines both the characteristics of lighting control protocol DMX512 and its suitability for the lighting of commercial and architectural environments integrated with Building Automation System (BAS) as well. In addition, the study includes a comparison between DMX512 and DALI. DALI is a lighting control protocol globally utilized in building lighting. The aim of the thesis was to offer comprehensive information about DMX512 for the needs of the company and to research the potential of its application in the lighting control of buildings.</p> <p>The goal was to review prominent figures in the field of lighting on behalf of the companies operating both as manufacturers and developers as well as the organizations standardizing the technology. The research was mostly carried out as a literary review without disregarding the interviews of lighting specialists. The study focuses on the lighting of commercial and architectural environments instead of stage and entertainment lighting.</p> <p>The thesis contains information about lighting control and consideration of its role in energy efficiency. The study also discusses lighting as a part of BAS, based on the information stated above. However, the spotlight of the study was fixed on DMX512 control protocol itself and the comparison with DALI.</p> <p>As a result, it can be concluded that harnessing both DMX512 and DALI in the lighting control system, required by the application, achieves the best result emphasizing the strengths of both protocols. Unnecessary complicating of a lighting control system and its unjustified integration to BAS lead to a lighting system which is not beneficial for the end users nor the administrators.</p> <p>The significance of the results of this Bachelor's thesis becomes highlighted as the individual requirements of lighting increase in the future. Additionally, the results can be seen analogous to the increasing overlapping of commercial and architectural lighting with entertainment lighting, like in the illumination of facades.</p>	
Keywords	DMX, lighting control, building automation system, DALI

Alkulause

Tahdon osoittaa kiitokset työpaikalleni Assemblin Oy:lle mielenkiintoisesta opinnäyte-työn aiheesta ja mahdollisuudesta työskennellä kirjoittamisen lomassa.

Kiitos Metropolia Ammattikorkeakoulun lehtori Antti Liljaniemelle rakentavasta palaut-teesta sekä asetetun aikataulun kiinnipitämisestä. Kiitos myös lehtori Heikki Paavilaiselle tuesta työn etenemisen aikana.

Haluan kohdistaa kiitokset myös USITT:n Mitch Hefterille, Suomen Valoteknillisen Seu-ran Heikki Härköselä, Bright Finland Oy:n Oskar Krogellille ja Sun Effects Oy:n Riku Souramalle haastatteluista, sekä ammattilaisten tuomasta näkökulmasta ja vastauksista lukuisiin kysymyksiin insinööri-työn tiimoilta.

Helsingissä 24. elokuuta 2017

Eetu-Veikko Nisula

Sisällys

Lyhenteet ja selitteet

1	Johdanto	1
1.1	Lähtökohta	1
1.2	Tavoitteet ja rakenne	1
2	Valaistuksen ohjaus	3
2.1	Valaistuksen ohjauksen tarve	3
2.2	Valaistuksen ohjauksen menetelmät	5
2.2.1	Tavanomaiset menetelmät	6
2.2.2	Sensoreita hyödyntävät menetelmät	7
2.2.3	Valaistustilanteet	8
2.3	Käyttökohteet	10
2.3.1	Arkkitehtoninen	10
2.3.2	Funktionaalinen	14
2.3.3	Viihde	15
3	Energiatehokkuus	17
3.1	Valaistuksen vaikutus energiankulutukseen	18
3.2	Valaistuksen energiansäästö	21
3.2.1	Menetelmät	22
3.2.2	Valaisimet ja liitäntälaitteet	24
4	Valaistuksen liittäminen kiinteistöautomaatioon	27
5	DMX512	32
5.1	Ominaisuudet	33
5.2	Kommunikointi	38
5.2.1	Tiedonsiirron ajoitus	39
5.2.2	Paketit	40
5.2.3	Vaihtoehtoiset aloituskoodit	42

5.3	RDM	46
5.3.1	Laitteiden havaitseminen ja osoitteistaminen	48
5.3.2	RDM-viestit	49
5.4	Useita DMX512-universumeita	55
5.5	DMX512 -valaistusjärjestelmän kokoonpanot	59
5.5.1	Kaapelointi	62
5.5.2	Valaisimia	65
5.6	Häiriötilanteet	66
6	Digitaalinen ja analoginen tekniikka valaistuksen ohjauksessa	68
6.1	Analogiset ohjausjärjestelmät	68
6.2	Digitaaliset ohjausjärjestelmät	69
6.2.1	DALI	70
6.2.2	DALI 2	74
7	Ohjausjärjestelmien vertailu	75
8	Yhteenveto	81
	Lähteet	83
	Liitteet	
	Liite 1. RDM-viestityypit	
	Liite 2. Lisätyt RDM-viestityypit	
	Liite 2. Verkkoasetuksiin liittyvät RDM-viestityypit	

Lyhenteet ja selitteet

ACN	<i>Architecture for Control Networks</i> . Verkkoprotokolla valaistuksen, äänen ja erityistehosteiden ohjaukseen.
AMX	<i>Analog Multiplex</i> . Analoginen kommunikointiprotokolla valaistuksen ohjaukseen.
ANSI	<i>American National Standards Institute</i> . Yksityinen järjestö, joka valvoo standardien kehittymistä ja ylläpitoa Yhdysvalloissa.
ASC	<i>Alternate Start Code</i> . DMX512-tiedonsiirrossa välitettävien pakettien vaihtoehtoinen aloituskoodi. Indikoi tavallisesta valaistustasojen dataa sisältävästä paketista poikkeavaa datapakettia.
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i> . 128-merkkinen tietokonemerkistö, joka sisältää kirjaimia, numeroita, väli- ja erikoismerkkejä.
Cat5	<i>Category 5 cable</i> . Kierretty parikaapeli, jota käytetään usein tietoverkoissa. Kaapelistandardin taajuus määritetty 100 MHz:iin.
DALI	<i>Digital Addressable Lighting Interface</i> . Standardoitu digitaalinen valaistuksen ohjausperiaate elektronisille liitäntälaitteille.
DMX	<i>Digital Multiplex</i> . Valaistuksen ohjaukseen suunniteltu digitaalinen sarjaprotokolla.
EMI	<i>Electromagnetic Interference</i> . Sähkömagneettisen säteilyn aiheuttama häiriö sähkölaitteissa.
ESTA	<i>Entertainment Services and Technology Association</i> . Yhdysvaltalainen järjestö, joka muun muassa ylläpitää teknisiä standardeja ja jakaa sertifiointeja.
FTP	<i>Foiled Twisted Pair</i> . Foliosuojattu kaapeli. Ei parikohtaista suojausta.

IPv4	<i>Internet Protocol Version 4.</i> Internetissä hyödynnettävän verkkotekniikan neljäs versio.
LED	<i>Light-Emitting Diode.</i> Valoa säteilevä puolijohdekomponentti, jota käytetään nykyisin laajalti valaistuksessa.
pF	<i>Faradi.</i> Yksikkö, jonka mukaan mitataan kapasitanssia. Pikofaradin (pF) kerroin on 10^{-12} .
PIR	<i>Passive Infra Red.</i> Elektroninen sensori, joka mittaa toimintaetäisyydellä olevien kappaleiden infrapunasäteilyä.
PLASA	<i>Professional Lighting and Sound Association.</i> Tapahtuma- ja viihdeteknologian sektorilla toimivien firmojen yhdistys.
PoE	<i>Power over Ethernet.</i> Mahdollistaa Ethernet-verkkoon yhdistettyjen laitteiden virran ottamisen samasta kaapelista, jota käytetään verkkoliikenteeseen.
RDM	<i>Remote Device Management.</i> DMX512:n laajennus, joka mahdollistaa kaksisuuntaisen tiedonsiirron ohjainlaitteen ja vastaanottajan välillä DMX-linjaa myöten.
RGB	<i>Red, Green, Blue.</i> Väriskaala, jota sekoittamalla eri suhteissa voidaan muodostaa eri värejä.
Räkki	<i>Himmenninräkki.</i> Useiden himmentimien ohjauksen kattavan signaalin vastaanottava laite, joka jakaa signaalin yksittäisille himmentimille.
UDP	<i>User Datagram Protocol.</i> Yhteydetön tiedonsiirtoprotokolla, jonka avulla IP-verkkolaitteet voivat kommunikoida verkossa.
UID	<i>Unique ID.</i> Numerosarja, jonka avulla verkon eri laitteet voidaan tunnistaa toisistaan.
USITT	<i>United States Institute for Theatre Technology.</i> Järjestö, joka kehittää ja ylläpitää esimerkiksi teatteri- ja viihdealan teknologiaa.

UTF-8	Yksi Unicode-merkistöstandardin koodaustapa. Luku 8 tulee tavasta käsitellä merkkejä tavuina (8-bittisinä osioina).
UTP	<i>Unshielded Twisted Pair</i> . Suojaamaton parikaapelityyppi.
XLR	Yleisimmin ääni-, video- ja valaistustekniikassa käytetty kaapeliliitin. Liittimessä voi olla pinnejä kolmesta seitsemään.
ZVEI	<i>Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V.</i> Saksalainen elektroniikkateollisuuden liitto.

1 Johdanto

1.1 Lähtökohta

Valaistuksen ohjaustekniikka kehittyy jatkuvasti nojautuen sille asetettaviin vaatimuksiin. Aiemmin pitkälti vain teatteri- ja esitystekniikassa käytetty ohjaus tulee lähemmäs ihmisten arkielämää omissa sovelluksissaan. Työpaikkojen, kauppakeskusten sekä puistojen lisäksi myös kodin valaistusta on perusteltua elävöittää ja hienosäätää tavoiteltavien vaikutusten saavuttamiseksi.

Valaistustekniikkaa hyödyntämällä tila voidaan mukauttaa kulloiseenkin käyttöön sopivaksi tunnelmaltaan tai vaihtoehtoisesti korostaa vain tiettyjä arkkitehtonisia Aspekteja – tilan rakennetta ja tuntua. Valaistuksen tärkeänä ominaisuutena ja päämääränä kiinteistöjen valaistuksen ohjauksen suunnittelussa on usein myös energiatehokkuus, joka näkyy kulutuksen vähenemisenä ja siten suoraan sähkölaskun maksajan hymykuopissa.

Kiinteistöjen valaistuksen ohjausta on huomioitava myös rakennuttajan ja ylläpitäjän näkökulmasta. Pelkkä vihreä ja emotionaalinen lähestymistapa toisi epäedullisia ratkaisuja käytännön toteutukseen. Energiatehokkuus ja säästöt ovat tältä kannalta katsottuna hyviä päämääriä, mutta huomioon tulisi ottaa lisäksi helppo muunneltavuus ja joustavuus: esimerkiksi toimiston fyysisen uudelleenjärjestämisen ei tarvitse tarkoittaa samaa myös valaistukselle. Erilaisten ohjaustapojen, kuten kaukosäätimien, seinäkatkaisijoiden ja hämärässä itsestään syttyvien valojen tulee toimia notkeasti yhdessä. Valaistuksen ohjaus pyritäänkin saattamaan kiinteistön älykkäät järjestelmät kattavaan rakennusautomaatioon, jotta toimenpiteiden ohjaus ja valvonta voidaan yhdistää yksinkertaisesti yhdeksi hallittavaksi järjestelmäksi.

1.2 Tavoitteet ja rakenne

Tämän insinööritöiden tavoitteena on tutkia DMX512-valaistuksen ohjausjärjestelmää ja esittää tietoa yrityksen tarpeisiin. Muista valaistuksen ohjausjärjestelmistä nostetaan esille sekä analogista että digitaalista tekniikkaa hyödyntäviä esimerkkejä, kuten AMX192, DSI ja DALI. Vertailu painottuu DMX512:n ja DALI:n vahvuuksiin ja eroavaisuuksiin sekä niiden soveltamismahdollisuuksiin kiinteistön yleisvalaistuksessa.

DMX512-valaistuksen ohjausjärjestelmän ominaisuudet otetaan käsittelyyn aihealueittain. Perustavanlaatuisten piirteiden ja standardien esittelyn jälkeen perehdytään tiedonsiirtoprotokollaan ja laajennuksien tuomiin lisämahdollisuuksiin, joista on hyötyä monimutkaisempia valaistusjärjestelmiä silmällä pitäen. DMX512-valaistusjärjestelmän kokoonpanoa käsitellään yleisellä tasolla, koska jokainen valaistushanke on yksilöllinen: tarkkoja linjoja ei voida vetää. DMX512:n tarkan erittelyn jälkeen siirrytään muiden valaistuksen ohjausjärjestelmien pintapuolisempaan esittelyyn ja itse vertailuun.

Koska valaistuksen ohjauksen toimeenpanolle on erilaisia motiiveita ja valaistusjärjestelmiä on toteutettu eri tavoin, insinööriyössä avataan yleisimpiä tarkoituksia ja käyttökohteita. Lisäksi työhön sisällytetään valaistuksen energiatehokkuus pääpiirteissään, sekä merkittäviä valaistuksen ja rakennusautomaation yhdistämiseen liittyviä seikkoja.

Insinööriyön aihepiireihin perehdytään kirjallisuusselvityksen ja haastatteluiden kautta. Näkökulma aineiston analysointiin ei ole niinkään esitys- ja teatteritekkinen, vaikka DMX512 onkin tältä alalta peräisin. Tutkimus ja vertailu suoritetaan puolestaan kiinteistöjen yleis- ja erityisvalaistuksen sekä rakennusautomaation perspektiivistä.

Luvussa 2 käsitellään valaistuksen ohjauksen tarvetta sekä erilaisia lähestymistapoja ja käyttökohteita. Luku 3 valottaa ohjauksen merkitystä energiatehokkuudelle ja sen mahdollistamille energiansäästöratkaisuille. Luku 4 erittelee valaistuksen ja rakennusautomaation yhdistämistä. Luku 5 kattaa DMX512-ohjausjärjestelmän kokoonpanoineen ja luvussa 6 kuvaillaan muita valaistuksen ohjausjärjestelmiä. Luvussa 7 vertaillaan DMX512:n ja DALI:n eroavaisuuksia ja otetaan kantaa kummankin protokollan soveltamisen puolesta.

2 Valaistuksen ohjaus

2.1 Valaistuksen ohjauksen tarve

Valaistus on kehittynyt siten, että sähkövalot tulivat saataville ihmisten valaistuskriteerien ollessa vielä hyvin vaatimattomat. Valoa täytyi vain olla tarpeeksi. Muun muassa valaistukseen käytetyt päreet mahdollistivat näkemisen pimeässä tuvassa, mutta valon ominaisuuksiin ei sen kummemmin kiinnitetty huomiota, koska pelkästään valaistuksen ylläpito edellytti toimia. Sähkövalojen myötä kuitenkin ymmärrettiin, että valon laatua voitiin parantaa käyttötarkoitukseensa sopivammaksi esimerkiksi hajauttamalla, poistamalla häikäisytekijöitä ja tekemällä valonlähteistä sekä turvallisia että miellyttävän näköisiä. Sovelluksiin ryhdyttiin siis käyttämään kuhunkin käypää valoa. Nykyisin on selvää, että rakennustyömaalla, moottoritien laidassa ja olohuoneessa on hyvin erilainen valaistus. Samoihin asioihin kiinnitetään edelleen huomiota valaistusta ja sen ohjausta suunniteltaessa, mutta vaatimusten skaala on laajentunut. Valaistuksen väri, voima (luminanssi) ja energiansäästö ovat olennaisia tekijöitä. Moderni valaistuksen ohjaus voidaan jaotella siltä edellytettäviin funktioihin. Robert Simpson hahmottelee kirjassaan *Lighting Control – Technology and Applications* valaistuksen ohjauksen kolme roolia, jotka ovat käytännöllisyys, esteettisyys ja energianhallinta. [46, s. 456; 49, s. 343.]

Valaistuksen ohjauksen käytännöllinen näkökulma on usein huomaamaton. Valaistus voi esimerkiksi tukea päivänvaloa tai muuttua valaistun alueen aktiivisuuden mukaan, yleisten vessojen liiketunnistimin varustettujen valojen tapaan. Toiminnan luonne valaistulla alueella voi myös vaikuttaa valaistukseen, mikä huomioidaan sitä ohjatessa. Simpson tuo esille hyvän esimerkin käytännöllisestä valaistuksesta: elokuvateatterin valot ovat käytännöllisistä syistä päällä, kun katsojat astelevat sisään etsimään istumapaikkojaan. Valot kuitenkin sammutetaan, jotta elokuvan näkee paremmin. Tässä huomionarvoista valaistuksen ohjauksen kannalta onkin joko valojen sammuttaminen yhtäkkiä tai niiden himmentäminen sammutukseen saakka. Himmentäminen ei ole esimerkissä esteettinen seikka, vaan äkkinäinen valojen katkaiseminen voisi aiheuttaa onnettomuuden, mikä tekee siitä käytännön kysymyksen. [49, s. 343 - 344.]

Esteettinen puoli valaistuksen ohjauksessa käsittää ympäristön valaistuksen tasapainottamisen miellyttävällä tavalla ja eri valaistustilanteiden väliset siirtymät. Valaistuksella voidaan vaikuttaa myös tunnelman luomiseen ja korostettavien asioiden näyttäytymi-

seen. Tasapainoisen valaistuksen idea on saada useat valonlähteet puhaltamaan yhteen hiileen, mikä näkyy parhaiten päivänvalon ja keinovalaistuksen lomittumisena tukien toisiaan. Esimerkiksi suuressa avokonttorissa voi olla tarpeellista valaista kaukana ikkunoista sijaitsevia työpisteitä enemmän kuin niitä, jotka ovat suoraan ikkunoiden alla, päivänvalon vaikutusalueella. Mikäli kuvan 1 avokonttorin järjestystä muutettaisiin, muodostuvista varjoista päätellen kauempana ikkunoista työskentelevät voisivat tarvita lisää valaistusta.



Kuva 1. Avokonttorin valaistus [40, s. 17.]

Koska sama tila voi vaatia erilaista valaistusta täyttääkseen edellytykset, joita illan hämärä, tarkka työskentely tai vaikka työyhteisön virkistystapahtuma asettavat, täytyy tilanteiden väliset siirtymät toteuttaa asianmukaisesti. Kappale 2.3 käsittelee tarkemmin valonsäädön mahdollisuuksia ja menetelmiä. [49, s. 344; 42.]

Energianhallinnan osa valaistuksen ohjauksen suunnittelussa on merkittävä ja siksi myös laajemman tarkastelun kohteena luvussa 3. Roolin merkitys on käytännössä selkeä: valaistuksen on täytettävä valaistustarpeet energiaa tuhlaamatta samalla näkömukavuudesta tinkimättä. Valaistushankkeet koostuvat usein käytännöllisistä ja esteetti-

sistä valaistustarpeista, joilta edellytetään lisäksi energiankäytön tehokkuutta. Näin energianhallinta lomittuu muiden valaistuksen ohjaustarpeiden kanssa. Energianhallinnan näkökulmasta ajateltaessa valaistuksen suunnittelussa on tärkeää pitää mielessä rahat ja takaisinmaksuaika, jotka yleisesti ottaen raamittavat valaistushankkeiden ominaisuuksia. Valaistuksen ohjaus ei ole välttämättä ratkaisevin tekijä energianhallinnan kysymyksissä, vaan keskipisteessä voivat olla uudet energiatehokkaammat valonlähteet, jotka vaikuttavat huomattavasti energiankulutukseen (voidaan ajatella panostettavan itse valaisimen hyötysuhteeseen ohjausjärjestelmän sijaan). [55, s. 444; 49, s. 345.]

Valaistusta ja sen ohjausta suunnitellessa olisikin hyvä lähteä liikkeelle halutusta tuloksesta ja käyttäjien mieltymyksistä. Kun nähdään valaistuksen ohjaus tarpeelliseksi, esitetään seuraavan kaltaisia kysymyksiä: Mitä tilassa tehdään ja mihin sen halutaan soveltuvan? Millainen tunnelma tilaan halutaan? Voidaanko tilan energianhallintaan vaikuttaa positiivisesti valaistuksen ohjauksella vai olisiko hyödyllisempää ottaa toinen lähestymistapa? Kun valaistuksen päämäärät ovat selvät, voidaan alkaa tarkastella työkaluja ja menetelmiä, joilla päästään tavoitteisiin.

Seuraavassa kappaleessa käsitellään valaistuksen ohjauksen menetelmiä, josta edetään valaistuksen eri käyttökohteiden tarkasteluun.

2.2 Valaistuksen ohjauksen menetelmät

Valaistuksen ohjauksessa yksinkertaisimmat metodit ovat tehokkaimpia ja niillä saavutetaan usein se, mitä ohjaukselta edellytetään kussakin tarkoituksessa. Liian monimutkainen järjestelmä jää hyvin irtoneiseksi itse käyttäjistä, jolloin se ei palvele tarkoitustaan – valoa on oltava oikea määrä, tilanteen edellyttämällä tavalla. Valaistukselta odotetaan myös käytön helppoutta, mikä näkyy valaistuksen automatisoinnissa. Hienostuneempien ohjausjärjestelmien tulisikin tavallaan kannustaa käyttäjiä sovittamaan valaistus vaatimuksiinsa käypäiseksi, tekemättä siitä liian vaivalloista.

Menetelmät ja päämäärät valaistuksen ohjaukselle riippuvat näkökulmasta. Karkeasti raja voidaan vetää arkkitehtonisen ja funktionaalisen lohkon sekä teatteri- ja viihdemailman välille. Verrattain uudet aluevaltauksset – kuten viihde- ja arkkitehtuurivalaistuksesta vaikutteita ottava ”architainment” – tekevät rajasta kuitenkin häilyvän.

Kehittyntä valaistuksen ohjausta on nykyisin yhtä lailla kiinteiden arkkitehtonisten- ja funktionaalisten sovellusten käytössä kuin näyttämöilläkin, vaikka valaistuksen ohjauksen historiaa tarkkailtaessa teatterit kulkevatkin kehityksen etunenässä. Rakennusten julkisivuja, siltoja, puistoja ja kauppojen näyteikkunoita laajennetaan visuaalisesti automaattisella valaistuksella. Tänä päivänä ei ole ennen kuulumatonta, jos kodista ja toimistostakin löytyy kehittyneempää valaistustekniikkaa. Monet laitevalmistajat ovat vastanneet kysyntään kehittämällä valaisimia, sensoreita ja ohjainlaitteita, jotka sopivat edellä mainittuihin tarkoituksiin. Arkkitehtonisella ja funktionaalisella valaistuksella voidaan nähdä eri merkityksiä kuin teatteri- ja viihdelohkoon luokiteltavalla valaistuksella. [48, s. 124.]

Tässä luvussa käsitellään suurempaa markkinaosuutta nauttivaa arkkitehtonista ja funktionaalista valaistuksen ohjausta aluksi esimerkkimenetelmien avulla. Tällaisia kiinteistöissä usein hyödynnettäviä ohjausmahdollisuuksia ovat tavanomaiset kytkimet, painonapit ja kellokytkimet. Kehittyneempiä ratkaisuja edustavat puolestaan sensorein toteutetut sovellukset, kuten läsnäolotunnistus ja vakiovalo-ohjaus. Teatterimaailmasta ponahtaneeseen valaistuksen ohjaukseen päästään valaistustilanteiden (scenes) puolesta. [49, s. 374.] Luvun loppupuolella käsitellään valaistuksen sovellusmahdollisuuksia eri käyttökohteissa.

2.2.1 Tavanomaiset menetelmät

Perinteisellä kytkimellä toteutettu *paikallisohtaus* on varmasti yksinkertaisin kaikista ohjaustavoista. Valaistusta voidaan ohjata yhdestä pisteestä, joka on tavallisesti rasisäädin, kuten ovenkarmin viereen sijoitettu manuaalinen on/off-kytkin. Ohjauksessa ei voida käyttää useita kytkimiä. Tilaan, johon on useita sisäänkäyntejä, tarvitaan esimerkiksi painonapein toteutettua ohjausta.

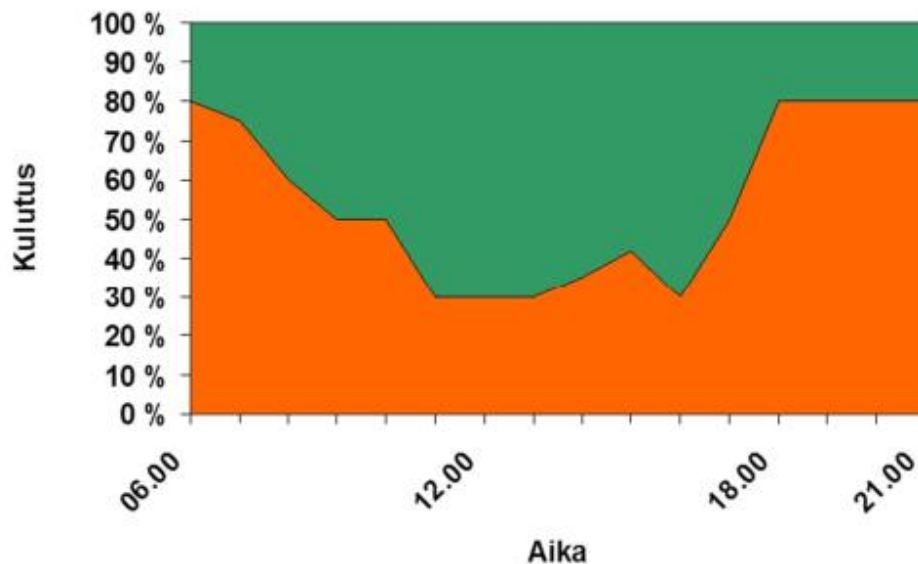
Painonapeilla (usein askelrelein varustettuna) ohjaus on mahdollista toteuttaa useasta rinnakkaisesta käyttöpaikasta, *monipisteohjauksena*, joka soveltuu muun muassa porraskuiluihin ja käytäviin. Painonapin sijaan voidaan käyttää kiertokytkimiä, liukusäätimiä tai edellä mainittujen yhdistelmämalleja.

Aikaohjaus perustuu nimensä mukaan ajan mittauksella (ajastimella) toimivaan ohjaukseen. Erilaisilla kellokytkimillä voidaan sekä kytkeä valaistus päälle tai pois päältä asetun viiveen mukaan että ajastaa esimerkiksi muistiin tallennettuja valaistustilanteita tai

muita toimintoja. Aikaohjaus yhdistetäänkin usein muihin ohjausmetodeihin, jolloin tiettyyn kellonlömään voidaan sítua vaikkapa valikoitujen valaisimien sensoreita. [42.] Sensoreiden automaattinen aktivointi (tai deaktivointi) lisää järjestelmän huomaamatonta ja joustavaa toimintaa.

2.2.2 Sensoreita hyödyntävät menetelmät

Vakiovalo-ohjaus eli päivänvalo-ohjaus perustuu valon määrää mittaavan anturin toimintaan. Valaistusta voidaan säätää kuvion 1 viitoittamalla tavalla päivänvalon mukaan – aamuhämärässä valot palavat kirkkaampina, päivällä himmeämmin ja illalla päivänvalon vähentyessä valaistus taas voimistuu. [55, s. 472.] Rakennusten julkisivujen valaistus voi esimerkiksi kytkeytyä päälle hämärän tullessa.



Kuvio 1. Vakiovalo-ohjauksen avulla päivänvalo hyödynnetään, jolloin valaisinten energiankulutus vastaa paremmin keinovalaistuksen tarvetta [42].

Läsnäolotunnistuksen avulla tilaa valaistaan vain sen ollessa aktiivisessa käytössä. Kuvan 2 läsnäoloilmaisim, eli PIR-sensori (Passive Infra Red), havaitsee mittausalueellaan tapahtuvaa liikettä kohteen lämpösäteilyn perusteella. Sensoreiden toimintoja yhdistämällä saadaan sekä energiatehokkain että samalla käyttäjää parhaiten palveleva valaistus. [55, s. 472.] Esimerkiksi yhdistämällä ulkovalaistus vakiovalo-ohjaukseen ja läsnäolotunnistukseen saadaan liikkeestä syttyvä valaistus, joka ei pala turhaan päivän valaistuksen tuntien aikaan.



Kuva 2. Helvarin 311 PIR-tunnistin on varustettu DALI-ulostulolla. Valojen sammutuksen viive tulee asettaa Helvarin omalla ohjelmistolla. [10; 25.]

2.2.3 Valaistustilanteet

Simpsonin mukaan [49, s. 374] arkkitehtuuria, yleisvalaistusta ja arkielämää lähentynyt monipuolisempi ja -mutkaisempi valaistuksen ohjaus on peräisin sekä valaistusalan harrastajilta että valaistussuunnittelun kehkeytymisestä ammattikuntamaiseksi. Hän toteaa, että monilla valaistussuunnittelijoilla on ollut taipumus teatteriharrastukseen, mikä näkyy esimerkiksi juuri arkkitehtonisen valaistuksen suuntauksessa muistiin tallennettuihin valaistustilanteisiin. Valaistustilanne on käsitteenä kuitenkin hyvin laaja ja sen puitteisiin voidaan lukea edellä mainittujen perinteisten ohjausmenetelmien ja sensoreiden aikaansaamia valaistuksia.

Valaistustilanne (scene) voidaan mieltää tietyntä valaistuksen yhdistelmänä. Kullekin valaisimelle (tai yhdelle valaisimelle) on ennalta määritetty oma valaistustaso ja säätymisviive, johon ne asettuvat tilanteessa. [42.] Valaistuskäyttöliittymissä voidaan "kutsua" eri valaistustilanteita yleensä nappia painamalla, kuvan 3 tapaan.



Kuva 3. Kotimaisen Helvarin valaistuksen ohjaukseen soveltuva käyttöliittymä. Vasemmalla ruutukaappaus SceneSet-puhelinapplikaatiosta, jolla voi valita eri tilanteisiin sopivan valaistuksen. Oikealla ohjainlaitteeseen kytkettävä käyttöpaneeli, joka mahdollistaa täyden väriohjauksen. Numeronäppäimiin on esiasennettuja valaistustilanteita, jotka ovat käyttäjän muokattavissa. [26.]

Tilanneohjattu valaistus voidaan nähdä tunnelmaa ja visuaalista ilmettä hakevana. Tällöin korostuvat viihdemaailman valaistuselementit: valon liike, väri ja intensiteetti. Valon värin ja intensiteetin säätö ovat perujaan teatterista, kun taas liikkuvat valot ovat puolestaan peräisin rock-konserteista ja Broadwaylta. [41, s. 43.] Nykyisin tällaista monipuolisempaa valaistuksen ohjausta käytetään myös esimerkiksi arkkitehtuurissa korostamaan rakenteita, jolloin myös ohjauksen automaattisuus, luotettavuus ja etäkäyttö ovat tärkeitä ominaisuuksia. Suoraan kuluttajille suunnatuissa ratkaisuissa tärkeimmäksi ominaisuudeksi muodostuneen puolestaan hinta ja järjestelmän helppokäyttöisyys. [49, s. 374.]

Tämän päivän valaistuksen ohjauksen yhtenä suurimmista trendeistä nähdään säädettävä valkoinen valo (tunable-white lighting). Oikealla värilämpötilalla ja valotasapainolla voidaan luoda luonnollinen keinovalaistus sisätiloihin, mikä tukee ihmisen valontarvetta eri tilanteissa, kuten opiskellessa tai rentoutuessa. Nämä voidaan käsittää edellä mainituina valaistustilanteina, joiden kirjo vaihtelee aina tilanteen luonteen mukaan. Valkoisen valon säätö simuloi päivänvaloa, mitä käyttäjä voi muokata itselleen sopivammaksi värilämpötilaa muuttamalla. Tavallinen LED-värimaailma käyttää punaista, vihreää ja sinistä

valokanavaa (RGB), joita sekoittamalla voidaan tuottaa koko värispektri. Samaa periaatetta hyödynnetään valkoisen valon säädössä siten, että sekoitetaan eri sävyisiä valkoisia valoja keskenään – etsitään sopivaa tasapainoa viileän ja lämpimän valkoisen valon välillä. [38; 43; 52.]

Edellä mainitut valaistusmenetelmät ovat monikäyttöisiä. Erilaisia menetelmiä valaistuksen ohjaukseen on huomattavasti, joten pääpaino valaistuksen suunnittelussa ei ole niinkään instrumentoinnin haasteissa, vaan valaistuksen soveltamisessa ja päämäärän spesifioinnissa. Valaistusmarkkinoilla tuntuukin, että tarjonta ja kysyntä eivät kulje käsi kädessä: valaistuksen ohjauksen ja varioinnin mahdollistavaa teknologiaa kehitetään jatkuvasti, mutta sen kysyntä laahaa perässä. Valaistusta onkin hedelmällistä tarkastella eri käyttökohteiden puolesta, jotta sen todelliset hyödyntämismahdollisuudet nähdään konkreettisemmin. Uusia innovaatioita soveltamalla niin arkkitehtonisesta, funktionaalista kuin viihteen viitekehukseen sopivasta valaistuksesta saadaan enemmän sekä käyttäjän että ylläpitäjän tarpeita ja vaatimuksia ruokkivaa.

2.3 Käyttökohteet

Valaistusmarkkinoilla kestävyys, yksilöitävyys ja digitalisaatio ovat alati kasvavan arvostuksen kohteena, energiatehokkuutta unohtamatta [39]. Viihteellisten sovelluksien valaistuksessa puolestaan alleviivataan tilanteen edellyttämiä tarpeita, kuten näyttävyttä – pitämällä valaistusintoilu ja taloudellisuus tasapainossa. Käyttökohteet ja käyttäjät saanevat kuitenkin pitkälti tarvitsemaansa valaistusta.

2.3.1 Arkkitehtoninen

Arkkitehtoninen valaistus voidaan jakaa eri sovelluskohteisiinsa käytön luonteen mukaan, joista osa menee päällekkäin funktionaaliseksi luokiteltavan valaistuksen kanssa. Seuraavassa hahmotellaan esimerkinomaisia valaistuskohteita ja kunkin erityspiirteitä.

Kotien valaistus on itsestäänselvyys, jonka merkitys korostuu usein esimerkiksi sähkökatkon yhteydessä. Huomionarvoista kodin valaistuksessa onkin luotettavuus ja yksinkertaisuus, jotta vikatilanteessa koko koti ei ole pimeänä ja käyttäjän on mahdollista jopa itse korjata vian syy. Eri huoneet vaativat myös erilaista valaistusta: keittiö, kodinhoituhuone ja työhuone vaativat tehokkaampaa valaistusta kuin makuuhuone, kun taas olohuoneen valaistusta pitää voida muuttaa tilanteesta ja tunnelmasta riippuen. [50.]

Työpaikkojen (toimistojen) valaistus on haasteellista, koska joidenkin tilojen tulee soveltaa valaistukseltaan eri käyttötarkoituksiin. Jokaisella käyttäjällä on myös omia mieltymyksiään. Monimutkaisemman valaistusjärjestelmän käyttäjäläheisyyttä ja yksinkertaisuutta ei voi korostaa liikaa tässä yhteydessä, jotta ohjausta ei kytketä pois päältä tyytymättömyyden vuoksi. Tämän vuoksi valaistusta on syytä pohtia eri tilojen puolesta. Millaista valaistusta yksittäisten henkilöiden toimistohuoneet kaipaavat? Entä millainen on jaettujen tilojen, kuten avotoimistojen kohtalo? Varastot, käymälät, käytävät ja portait eivät taas kaipaa yksilöllistettyä valaistusta, mutta valoa tulee olla riittävästi ja helposti. Kokoushuoneiden ja auditorioiden valaistuksessa on otettava huomioon AV-järjestelmät ja niiden edellyttämä valaistus. Työpaikkojen vaihtelevan käyttöluonteen vuoksi esimerkiksi aika- ja läsnäolo-ohjauksella, sekä päivänvaloa hyödyntävällä vakiovalo-ohjauksella voidaan saavuttaa mittavia säästöjä edellä mainituissa tiloissa. [21; 39; 49, s. 431 - 436.]

Kulttuurikohteet ovat usein muodoltaan hyvin omaleimaisia. Esimerkiksi museoiden ja näyttelytilojen valaistuksella voidaan korostaa staattisia kohteita kuten tauluja tai veistoksia, mutta etenkin näyttelytilojen kirjon vuoksi valaistuksen muunneltavuus on tärkeää. Kirjastot ovat haastavia valaistuskohhteita niiden monimuotoisuuden vuoksi: kirjasto voi olla olemukseltaan näyttävä monumentti, toimisto, opiskelutila, museo, kokoon-tumistila tai varasto. Yleisvalaistukseen on kiinnitettävä huomiota, mutta useimmiten se ei ole yksinään riittävää. Uskonnolliset kohteet, kuten kirkot ovat erityisiä valaistuksen näkökulmasta ajateltuna. Vanhojen rakennusten arkkitehtuuria halutaan usein korostaa hillitysti valaistuksella, kuten myös sisätilojen alttareita ja maalauksia. [49, s. 447 - 455.]

Hotellit, sairaalat ja julkiset laitokset voidaan niputtaa yhteen niiden samankaltaisten piirteiden vuoksi. Aukioloajat ovat kattavat (parhaillaan 24 tuntia vuorokaudessa) ja käyttäjät eivät ole kodeissaan, mutta heille tarjotaan kodinomaisia palveluita lyhytaikaisesti. Lisäksi valaistuksen käyttö- ja huoltokustannukset ovat merkittäviä sekä valaistuksen luo-

tettavuus on ensiarvoisen tärkeää. [49, s. 459.] Erityisesti juuri sairaaloiden kohdalla valaistuksella on moniulotteinen vaikutus (arkkitehtonisen lisäksi funktionaalinen), koska henkilökunnan työskentelyedellytysten ja potilasturvallisuuden täytyy pysyä jatkuvasti korkeana. Viihtyvyydellä on painoarvoa myös esimerkiksi potilashuoneiden kohdalla. [19.] Kuvassa 4 on kotimaisen Greenledin valaistusratkaisu vuodeosastolle.



Kuva 4. Greenledin Square Opal -valaisimet jäljittelevät kattoikkunasta tulevaa luonnonvaloa kuitenkin potilaita ja henkilökuntaa häikäisemättä [19].

Julkisista laitoksista esimerkiksi kouluissa valaistuksella on huomattava merkitys. Oikeanlainen valaistus kohottaa oppilaiden vireystilaa, luo ympäristöstä viihtyisämmän tehokkuutta unohtamatta ja ottaa huomioon tilojen muunneltavuuden. Valaistuksen ohjauksella luokkahuoneen tunnelmaa voidaan vaihtaa luentoa tai ryhmätöitä tukevaksi. [18.]

Ravintoloiden valaistuksessa olennaista on ensivaikutelman luominen ja asiakkaiden viihtyvyys. Valaistus voi olla käytännönläheistä tai prameaa, tilaisuudesta riippuen. Esimerkiksi ravintolan tarjoaman aamiaisen ja intiimin illallisen valaistukseen voi olla syytä panostaa eri tavoin, jotta tila on aina kutsuvan näköinen. [39.] Valaistuksen ohjauksessa tulee panostaa valaistuksen monipuolisuuteen ja ennalta suunniteltuihin valaistustilanteisiin, jotka vaihtuvat automaattisesti (esimerkiksi ajatuksella). Automaattisuus on hyvä

kuitenkin pystyä ohittamaan manuaalisesti, mikäli tilanne muuttuu odottamatta. Tärkeää on huomioida tilanteiden vaihtumisen pehmeys asiakkaiden viihtyvyyttä silmällä pitäen. [49, s. 463 - 464.]

Julkisivut ja muut ulkotilat vaativat luotettavaa valaistusta, monitoroitavuutta ja kauko-ohjattavuutta [39]. Myös energiatehokkuuden kysymykset tulevat ulkovalaistuksessa kyseeseen valaistuksen ohjausta suunniteltaessa: esimerkiksi puutarhojen valaistusta ei kannata pitää päällä jatkuvasti, vaan käyttää niiden ohjauksessa apuna esimerkiksi valoisuusantureita. Turvallisuuden kannalta olennaisten kohteiden, kuten kulkureittien valaistus voi olla syytä pitää päällä läpi yön tai vaihtoehtoisesti varustaa liiketunnistimin. [53.] Julkisivujen ja taideteosten erityisvalaistus herättää kohteistaan henkiin uusia ulottuvuuksia, joista ensin mainittu kasvattaa suosiotaan jatkuvasti. Hyvänä esimerkkinä julkisivuvalaistuksesta on kuvan 5 Solo Sokos Hotel Torni Tampere, jonka kyljessä nähdään Signaali-niminen valoteos.



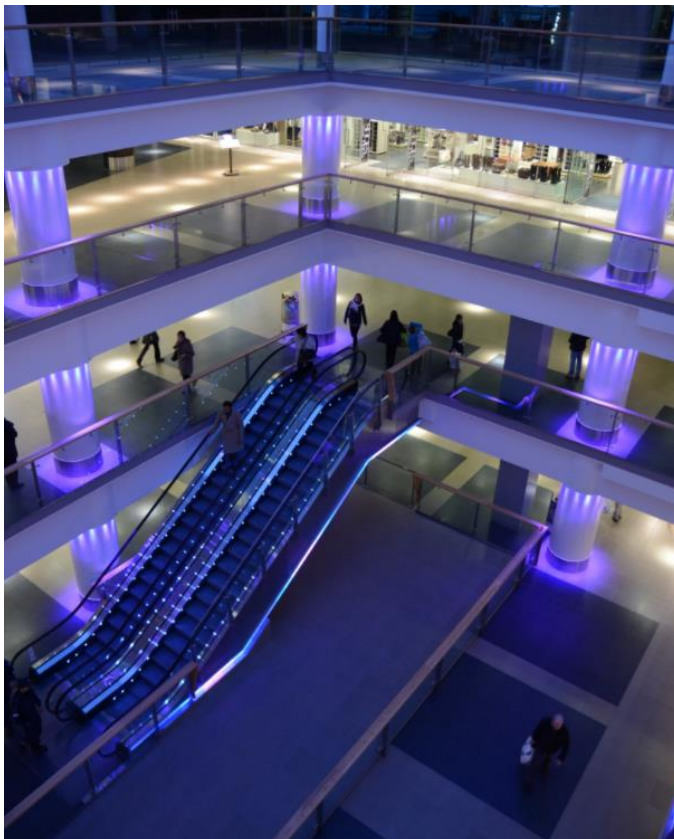
Kuva 5. Torni-hotellin julkisivuvalaistus korostaa rakennuksen arkkitehtuuria. Valaistuksen ohjauksella on suuri merkitys: valoteoksen sisällöt luodaan valon väriä, muotoa ja liikkeitä muuttamalla. [31.]

Suuret lediteknikkaan perustuvat videonäytöt tai ”mediaseinät” voidaan lukea arkkitehtonisen ja viihteellisen valaistuksen välimaastoon, mutta ovat vielä valaistusmuotona kohtalaisen uusia. Niiden käsittely jää tässä insinööriyössä pelkän maininnan tasolle.

2.3.2 Funktionaalinen

Funktionaalisen valaistuksen tarkoitus on tukea tilan toimintaa. Viihtymisen, toiminnallisuuden ja näytävyyden pohtiminen on tärkeää, kun puhutaan esimerkiksi kauppakeskusten valaistuksesta. Toiminnallisuus on erityisen tärkeää muun muassa työpaikoilla, joissa ollaan tekemisissä suurten teollisuuskoneiden kanssa tai tehdään tarkkuutta vaativaa työtä. Funktionaaliseksi luokiteltavan valaistuksen tehtävä onkin tuottaa tarkoituksenmukaista valoa, jonka ohjaamiseen itsessään ei tarvitse nähdä vaivaa.

Kauppojen valaistus on jatkuvasti viihteellistymään päin, koska shoppailusta on tullut ihmisille myös ajanviete pelkkien ensisijaisten tarpeiden tyydyttämisen sijaan. Valaistuksella voidaan vaikuttaa kauppojen ja niiden ympäristön (esimerkiksi kauppakeskusten yleisten tilojen) viihtyvyyteen, kuten kuvassa 6 kauppakeskus City Centerissä, Helsingissä. Erityisemmällä, ”myyvällä valaistuksella” kaupat voivat kilpailla asiakkaiden huomiosta ja luoda tuotteilleen houkuttelevamman ilmeen. [17.]



Kuva 6. Helsingin keskustan kauppakeskus City Center korostaa parhaita puoliaan näyttävällä sisävalaistuksella. Funktionaalista valaistusta havainnollistavat liukuportaiden erityisvalot ja kaupan kirkkaat valot. Yleisten tilojen ja kaupan välillä on tosin kohtalaisen suuri kontrasti, johon on syytä kiinnittää huomiota asiakkaiden viihtyvyyttä ajatellen. Kirkas valaistus toisaalta nostaa kaupan tuotteet esiin käytävälle, mikä lienee ollut suunnittelijan tarkoitus. [32.]

Valaistuksen ohjaukseen on siis kiinnitettävä huomiota esimerkiksi seuraavin kysymyksin: Millä tavalla suuren liiketilan valaisimet saadaan toimimaan joustavasti siten, että niiden operointiin ei tarvitse käyttää aikaa? Kuinka valaistus saadaan palvelemaan sekä työntekijöitä, asiakkaita että siistijöitäkin? Kuinka saada tuotteet näyttämään vetoavilta, sekä taata toiminnallisuus pitkinä aukioloaikoina ottaen energiatehokkuus huomioon?

Tehtaiden toiminnan keskiössä ovat aina energiatehokkuus, tarkkuus ja luotettavuus. Asetetut edellytykset on otettava huomioon myös valaistusta suunniteltaessa, jotta voidaan ylläpitää turvallisuutta ja tehokkuutta eri työvaiheissa ja välttää tuotannon keskeytyminen. [39.] Kuten toimistoissakin, tehdasympäristön valaistuksessa on tiettyjä erityispiirteitä. Tyypillisesti tehtaan työpisteellä vaaditaan paljon valoa yhdestä valaisinpisteestä, jotta valoa on riittävästi tietyille kohdalle. Pelkällä yleisvalaistuksella tämä voi olla hankalaa toteuttaa, mikäli kyseessä on korkea tehdashalli – valon määrä vähenee etäisyyden kasvaessa, joten perinteiset kattovalot voivat olla riittämättömät. [20.] Energiankulutukseen tulee kiinnittää huomiota, koska suurissa teollisuushalleissa on paljon sähköä kuluttavia pisteitä. Huomionarvoista olisikin tarkastella tilojen käytön luonnetta ja tehdä johtopäätöksiä erilaisten sensoreiden hyödyntämisestä valaistuksen ohjauksessa.

2.3.3 Viihde

Ohjattavan valaistuksen juuret ovat teatterissa, kuten aiemmin on jo todettu. Viihde on kulkenut pitkään valaistustekniikan kärjessä erityisine tarpeineen, ja sen parista sovellukset ovat hiljalleen muovautuneet sopivaksi arkkitehtoniseen valaistukseen ja kauppojen hyllyillekin. Kirjassaan *The Automated Lighting Programmer's Handbook* Brad Schiller [48] jakaa viihteellisen valaistuksen eri genreihin ja avaa kutakin aluksi päällisin puolin. Sama lähestymistapa valaistuksen viihteellisiin käyttötarkoituksiin sopii tähän insinööriyöhön mainiosti, koska pääpaino on viihteen käyttökohteiden sijaan muualla. Kuitenkin valon ohjauksen kehityksen kannalta erityisesti teatteri on ratkaisevassa asemassa, joten viihteessä hyödynnettävää valaistusta ei tule mainitsematta sivuuttaa.

Teatteri tai *musikaali* vaatii kohtauksesta toiseen vaihtuvan luonteensa vuoksi lista- maista rakennetta valaistuksen ohjaukseen. Valaistusteknisesti ajatellen teatterikappale koostuu yksi toisensa perään tulevista valaistustilanteista, jotka edellyttävät valaistukselta tietynlaista toimintaa. [48, s. 112.] Kulloinkin käytössä oleva näyttämön erityisvalaistus on valaistuksen suunnittelijan ja ohjelmoijan yhteistyön tulosta.

Konserttikiertueilla ohjattua valaistusta käytetään kohentamaan elämystä entisestään. Kiertueella käytettävä valaistus eroaa esimerkiksi teattereiden valaistuksesta siinä, että järjestelmät eivät ole kiinteitä, mikä ajaa panostamaan valaistuksen suunnittelussa automatiikkaan ja käytännönläheiseen näkökulmaan. [48, s.115 - 116.] Simpson toteaaakin kirjassaan, että tämänkaltaisissa väliaikaisissa valaistusjärjestelmissä ongelmaksi muodostuukin erityisesti turvallinen ja käytännöllinen energiansyöttö, jonka suunnitteluun on syytä kiinnittää huomiota. [49, s. 525.]

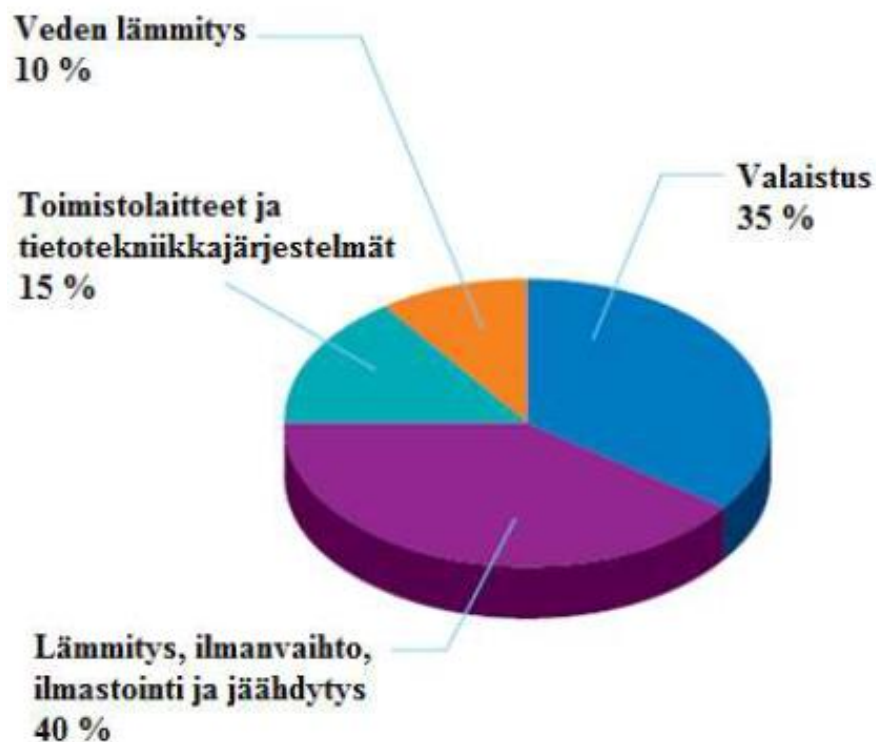
Elokuviissa ja television nopeatempoisissa musiikki- ja peliohjelmissa valaistuksella tehdään muun muassa näyttäviä siirtymiä sekä voidaan korostaa henkilöitä ja tapahtumia. Asiapainotteisemmissa TV-ohjelmissa, kuten uutisissa tai keskusteluohjelmissa, valaistus on puolestaan kohtalaisen hillittyä. Televisiossa käytettävän valaistuksen erityispiirteenä ovatkin kamerat, joiden kanssa valaistuksen tulee sopia hyvin yhteen: on muistettava, että television näytön välittämä kuva on kaiken tarkoitus. Valaistusta televisio-ohjelmaan suunniteltaessa on siis ”katsottava tapahtumia kameran linssin läpi”. [48, s. 119.]

Kuten luvun alussa mainittiin, käyttökohteet ja käyttäjät määrittävät pitkälti kohteen valaistuksen. Valaistustekniikan kehitys on mahdollistanut erilaisia tapoja valaistuksen perustarpeiden täyttämiseen eri tilanteissa sekä luomaan tiloista viihtyisämpiä ja näyttävämpiä. Valaistuksen ohjaus kuuluu myös oleellisesti hankkeisiin, joissa pyritään täyttämään valaistuksen erityistarpeita aina valotaiteesta kiinteistöjen energiatehokkuuteen.

Seuraava luku käsittelee energiatehokkuutta valaistuksen näkökulmasta. Aluksi tarkastellaan valaistuksen vaikutusta rahansäästöön eli energiatehokkuuteen, minkä jälkeen esitetään metodi kiinteän valaistuksen energiankulutuksen laskennalle.

3 Energiatehokkuus

Luvussa 2 valaistuksen energiatehokkuutta alustettiin vetämällä linjoja: valaistuksen tulee täyttää tilan valaistustarpeet ja ylläpitää näkömukavuutta silti energiaa tuhlaamatta. Valaistusta suunniteltaessa päädytään usein pohtimaan myös energiankulutuksellisia vaikutuksia, mikä on luonnollista, koska keinovalaistuksen osa kokonaisenergiankulutuksesta on suuri. Suomen Valoteknillisen Seuran ja Metropolia Ammattikorkeakoulun järjestämässä *Valoakatemiassa* luennoinut Helvarin edustaja esittää kuvion 2 mukaisesti keinovalon osuuden olevan toimistorakennuksissa 35 %, joka lienee suuntaa antava karkea arvio [42]. Valaistuksen energiankulutukseen vaikuttaa useita tekijöitä, joita tässä luvussa käsitellään eri näkökulmista.



Kuvio 2. Toimistorakennuksen energiankulutus. Energiatehokkaan valaistussuunnittelun myötä valonohjaus ja energiatehokkaat valonlähteet yhdessä voivat pienentää energiankulutusta jopa 25 %. [42.]

Tarkasteltaessa valaistussuunnitelmaa energiatehokkuuden näkökulmasta on syytä ottaa huomioon lamppujen energiatehokkuus, valaisimien hyötysuhde ja sijoittelu sekä liitäntälaitetekniikka. Lisäksi valaistuksen ohjaukseen on paneuduttava muun muassa valaistavien tilojen käytön ja saatavilla olevan päivänvalon perspektiivistä. [29, s. 14; 55, s. 29.]

Aluksi energiakysymyksiä analysoidaan yleisellä tasolla valaistuksen energiankulutuksellisten vaikutusten kannalta. Jälkeenpäin paneudutaan energiansäästön mahdollisuuksiin valaistuksessa, jonka motiivina nähdään rahalliset syyt – puhtaan altruististen hyötyjen sijaan. Luvun lopussa siirrytään kiinteistöjen energianhallinnan suuntaan valaistuksen näkökulmasta.

3.1 Valaistuksen vaikutus energiankulutukseen

Rakentamisen energiatehokkuuteen Suomessa vaikuttavat EU-linjaukset, erilaiset direktiivit, kansainväliset sopimukset sekä Suomen lainsäädäntö. Rajoitukset koskevat kiinteistöjen energiankulutusta, mikä voidaan johtaa suoraan kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämiseen. Suomea ja kaikkia EU:n jäsenmaita koskeekin yhteinen sopimus päästövähennyksistä, jonka mukaan vuoteen 2020 mennessä päästöjen tulisi vähentyä 20 % vuoden 1990 tasoon verrattuna. Valaistuksen ollessa suuri tekijä rakennusten energiankulutuksessa kuten kuviosta 2 nähtiin, on myös sen osalta taivuttava energiatehokkuusvaatimukseen. [29, s. 4.]

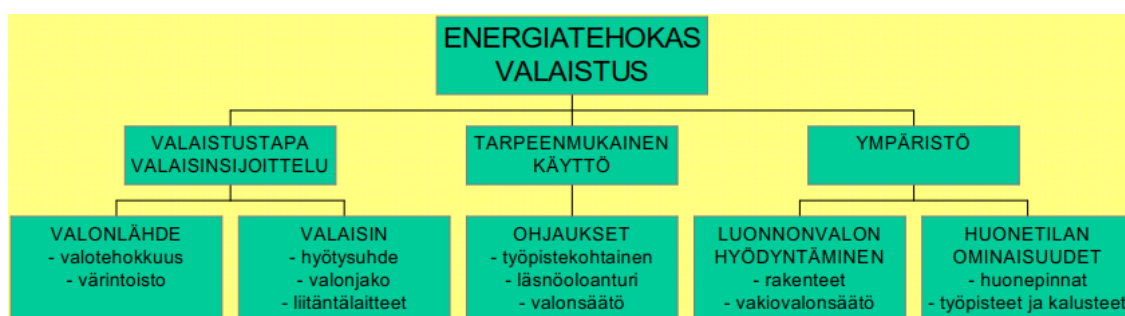
Missä kohteissa valaistuksessa voisi säästää? Suomen Valoteknillisen Seuran kokoama aineisto erittelee tärkeimmät (suurimmat) valaistuksen energiankulutukselliset sektorit taulukon 1 mukaisesti, josta nähdään palvelu- ja julkisen sektorin valaistuksen haukkaavan puolet koko valaistukseen käytetystä energiasta. Sektori kattaa mm. julkiset rakennukset, sairaalat, toimistot ja muut vastaavat.

Taulukko 1. Suomessa käytettävän valaistuksen säästömahdollisuudet. Mukana oleellimmat sektorit. [15, s. 7, muokattu.]

Alue	Kulutus MWh/a	Säästö- potentiaali MWh/a	%	CO ₂ -päästöjen vähennys tonnia/a ⁵⁾
Kotivalaistus ¹⁾	1.600.000	1.000.000	62	200 000
Palvelu- ja julkinen valaistus ²⁾	4.000.000	1.200.000	30	240 000
Teollisuusvalaistus ³⁾	1.500.000	400.000	26	80 000
Katuvalaistus ⁴⁾	900.000	200.000	22	40 000
YHTEENSÄ	8.000.000	2.800.000	30	560 000

- 1) Motiva
- 2) Motiva: palvelu- ja julkisen sektorin osuus kokonaiskulutuksesta 19 %, josta tyypillisesti valaistuksen osuus 24 %
- 3) Arvio Ruotsin teollisuuden energiankulutuksen perusteella.
- 4) Kuntaliitto, tilastokeskus ja maahantuojien tilastot.
- 5) Suomen keskimääräinen sähkönhankinta 200 g CO₂/kWh

Kuten taulukosta 1 nähdään, huomattavimmat säästöt saataisiin juuri palvelu- ja julkisesta valaistuksesta sekä kotien valaistuksesta. Näissä kohteissa valaistuksen energiankulutukseen voidaan vaikuttaa esimerkiksi valaistusratkaisun uudelleenarvioinnilla (valonlähteet, valaisimet ja niiden sijoittelu) sekä valaistuksen käyttäytymisen tehostamisella (valo-ohjaus). Kuvio 3 niputtaa valaistuksen energiatehokkuuden käsitteen alle myös edellä mainittujen seikkojen lisäksi ympäristön, joka kattaa luonnonvalon hyödyntämisen ja valaistavan tilan ominaisuudet kuten erikoisvalaistuksen paikoittaisen tarpeen ja vaaleiden pintojen heijastavuuden.



Kuvio 3. Valaistuksen energiatehokkuuden muodostavat tekijät [28].

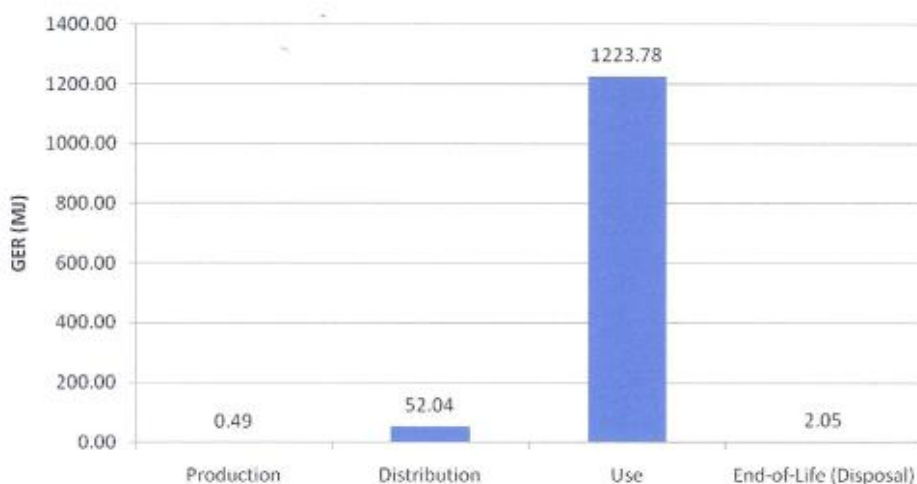
Jotta kiinteistöjen energiatehokkuuteen nähden voidaan vaatia toimenpiteitä, täytyy energiankäyttö eri kohteissa saattaa vertailukelpoiseksi. Kohteen energiankäytöllinen arviointi Suomessa voidaan rakentaa nojautuen standardiin SFS-EN 15193-1 (Energy performance of buildings – Energy requirements for lighting), joka määrittää harmonisoidun menetelmän kiinteään valaistuksen energiankäytön mittaamiselle ja laskemiselle. Energiatehokkuuskriteerit voidaan standardin mukaan määrittää LENI-arvoon perustuen, joka tarkastelee koko rakennuksen valaistuksen vuotuista energiankulutusta sen pinta-alaa kohden. [56, s. 25.]

Rakennukselle lasketaan LENI-arvo kaavalla

$$LENI = W/A \text{ (kWh/m}^2\text{, vuosi)}$$

LENI-arvo kertoo rakennuksen sisävalaistuksen kokonaisenergiankulutuksen. Se voidaan myös pinta-alan ja energiankulutuksen mukaan valjastaa kuvaamaan vain rakennuksen tiettyä osaa, vaikka yksittäistä kerrosta. Standardi määrittelee lisäksi tarkemman laskutavan, jolla voidaan selvittää valitun ajanjakson energiankäyttö (vuosi, kuukausi tai tunti), mikäli käytössä on laskelma rakennuksen läsnäoloajoista ja päivänvalon saannista. Tarkkoja laskelmia tehtäessä on hyvä ottaa lukuun myös esimerkiksi hätä- ja turvavalaisinten lepokulutus. [55, s. 511 - 512.]

Ennen energiansäästömenetelmien käsittelyä on syytä huomauttaa lamppujen valmistuksen, jakelun, käytön ja hävittämisen aiheuttamista erillisvaikutuksista. Elinkaarensa ajalta lamppujen energiansäästö voidaan huoletta kohdistaa käytön aikaiseen kulutukseen. Kuvion 4 esittämien tietojen tarkastelun jälkeen on perusteetonta kyseenalaistaa lamppujen energiankulutuksen käsittelyä lähes pelkästään niiden käytön aikana kuluttaman energian puolesta. Kuvion jälkeen esitetty tutkimus tukee samaa kantaa.



Kuvio 4. Halogeenilamppujen koko elinkaaren aikaisesta energiankulutuksesta yli 90 % syntyy niiden käytön aikana. Halogeenilamput ovat poistumassa markkinoilta energiatehokkuusvaatimusten vuoksi. Kielto tulee voimaan syyskuussa 2018. [16, s. 50; 22.]

Ledilamput (kappale 3.2.1) ovat halogeeneja kehittyneempää tekniikkaa, mikä näkyy niiden pitkäikäisyydessä ja energiatehokkuudessa. Kuitenkin myös ledilamppujen kohdalla, ympäristövaikutukset kohdistuvat pääasiassa niiden käytön aikana kuluttamaan energiaan. IIIIE:n ja Lundin yliopiston julkaiseman tutkimuksen mukaan ledilampun koko elinkaaren energiankulutuksesta 76 - 98 % uppoaa sen käyttöön. Tarkka osuus riippuu energianlähteistä, jotka vaihtelevat eri puolilla maailmaa. [27, s. 12.]

Edellä esitettyjen syiden vuoksi seuraavassa kappaleessa painotetaan valaistuksen energiansäästömenetelmiä valaisimien ohjauksen ja käytön näkökulmasta. Huomioon otetaan myös muun muassa lamppujen vaihtaminen ja huolto, jotka lukeutuvat kuluiksi rahallisessa mielessä energian kuluttamisen sijaan.

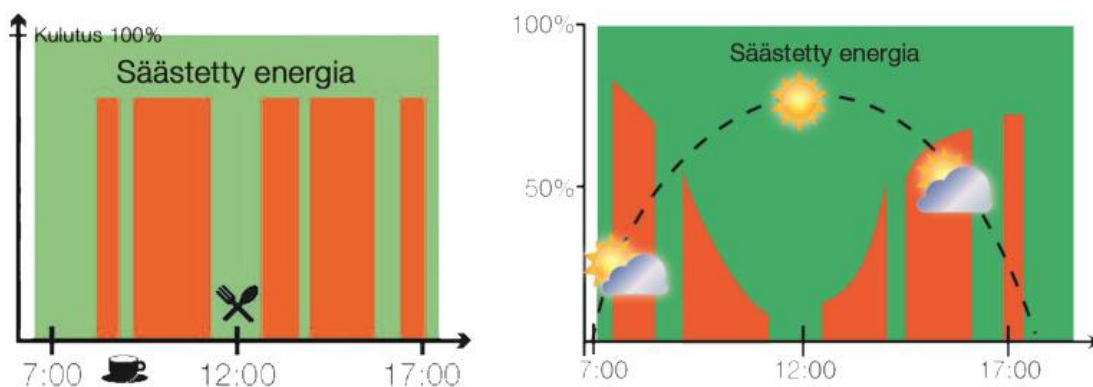
3.2 Valaistuksen energiansäästö

Kuten edellisessä kappaleessa todettiin, valaisimien käytön aikainen energiankulutus on vain yksi, mutta selkeästi suurin osa keinovalaistuksen koko energiavaikutuksesta. Kuitenkin mikäli energian säästämisen menetelmät maksavat itsessään – korottaen muita käyttökuluja – ei säästöstä saada mitään hyötyä. Tämän vuoksi energiatehokkuushankkeissa on huomioitava lisäkulut valaisimen itsensä ohella. Tällaisina voidaan nähdä asennus- ja huoltokulut (myös vaihtaessa loppuun kulunutta lamppua uuteen) ja vaihtamisen valaistuksen kulut, mikä voi näkyä esimerkiksi tehtaissa tuotannon heikkenemisenä. [49, s. 413.]

3.2.1 Menetelmät

Valaistuksen energianhallinnalliset menetelmät ovat jokapäiväinen puheenaihe valaistusmarkkinoilla. Energiankulutuksen vähentämisen keinot voidaan kiteyttää seuraaviin kohtiin.

- Valonlähteeksi tulee valita värintoistoon nähden valontuotoltaan paras vaihtoehto. Energiatehokkuuskysymyksissä myös liitäntälaitteisiin ja muuntimiin tulee kiinnittää huomiota. Esimerkiksi loistevalaisimen ohjattavalla elektronisella liitäntälaitteella voidaan saavuttaa 25 %:in energiankulutuksellinen hyöty elektromagneettiseen liitäntälaitteeseen verrattuna. [11, s. 8.]
- Valaisinten pitää olla sopivan tehokkaita ja hyvin häikäisysuojattuja sekä valaistusta on oltava mahdollisuus muokata vastaamaan henkilökohtaisia tarpeita. Mikäli käyttäjä kokee valaistuksen kelvottomaksi, hän muokkaa sitä, jolloin energiatehokkuus voi kärsiä. Sama pätee valon ohjauksen menetelmiin.
- Valaistuksen on syytä kytkeytyä pois päältä tai ainakin himmentyä, mikäli kukaan ei kaipaa sitä tai valoa on muuten tarpeeksi. Kuvio 5 hahmottaa läsnäolo-, aika- ja vakiovalo-ohjauksen yhteishyötyjä tässä suhteessa. Energiatehokkaassa valon ohjauksessa onkin olennaista, että valonlähteet antavat valoa juuri sen verran kuin tarvitaan eikä enempää.



Kuvio 5. Vasemman kuvaajan tilanteessa valaistusta ohjataan läsnäoloanturin mukaan. Energiainsäästö näkyy näin esimerkiksi toimistoaikojen ulkopuolella sekä kahvi- ja lounastauoilla. Yhdistämällä vakiovalo-ohjaus edellisen kanssa saadaan päivänvaloa kompensoiva valaistus, joka näkyy selvimmin keskipäivän lähes sammuksiin himmennettynä valaistuksena. Näin energiankulutus saadaan minimoitua. [42.]

- Auringon- ja keinotekoisien valon tasapainottamisella saadaan aikaan merkittäviä säästöjä kuten kuvio 5 antaa ymmärtää. Valosensoreiden käyttöä voidaan perustella lisäksi myös lamppujen tehonvaihtelulla iän myötä: joidenkin lamppujen valaistusteho heikkenee ajan kanssa, joten vasta asennettuina ne tuottavat liikaa valoa. Täten kyseiset lamput kuluttavat aluksi ylimääräistä energiaa. Valotehon laskiessa sensorin mittauksien nojalla voidaan tehdä päätös lampun vaihtamisesta uuteen.
- Valojen katkaisemisen ja himmentämisen välinen ero on kohtalaisen selkeä: mikäli tilassa ei tarvita valojen himmennystä käytännöllisistä tai esteettisistä syistä, lienee perusteltua, että käyttämättömänä valaistus sammutetaan. Himmennysten tuomat säästöt ovat pienempiä energiankulutuksellisesti, mutta lamppujen käyttöikä voi kasvaa – näin korvaavien lamppujen asentamisen kulut pienenevät.

[55, s. 29; 49, s. 345, 402 - 403, 413 - 414.]

Edellä mainittujen energiansäästömenetelmien lisäksi valaistuksen optimoinnilla voidaan vaikuttaa rakennuksen jäähdytys- ja lämmityskuluihin. Koska vain murto-osa näkyvästä säteilystä karkaa ulos rakennuksen ikkunoista, on selvää, että keinotekoisien valaistuksen tuottama säteily lämmittää rakennusta sisältä. Esimerkiksi talvisin valaistuksen tuottama lämpö voidaan huomioida lämmityksessä. Kesäisin puolestaan valaistus lämmittää sisätiloja entisestään, jolloin ilmastointia voidaan joutua säättämään tehokkaammaksi. Näin ollen valaistuksen tehon ohjauksella voidaan saavuttaa käytännössä

enemmän säästöjä, kuin pelkät valaistuslaskelmat antavat ymmärtää. [49, s. 417.] Valaistuksen ja ilmastoinnin (ja lämmityksen) suhdetta sekä siihen kohdistuvia säästöjä on käsitellyt muun muassa nykyisin kansainvälinen rakennettua ympäristöä ja kestävää teknologiaa edustava ASHRAE. Yhdistys on standardoinut laskutavan, jolla valaistuksen tuottamat ilmastoinnin säästöt voidaan selvittää.

Energiatehokkuushankkeisiin lähdetessä on syytä tehdä kannattavuuslaskelmia ja arvioida tilaa, johon valaistus tulee. Kaikissa tiloissa ei yksinkertaisesti ole mahdollista säästää energiaa, mikäli valonlähteet ovat tarpeenmukaiset. Esimerkiksi rakennuksen keskeisissä huoneissa, joissa ihmiset liikkuvat pitkin päivää, ainakaan valaistuksen ohjauksella ei saada merkittäviä säästöjä. Päinvastoin: ohjauslaitteet, sensorit ja niiden käyttöönotto maksavat, jolloin säästö on korkeintaan kosmeettista. Siispä olosuhteissa, joissa valaistuksen ohjauksella ei saavuteta säästöjä on syytä panostaa valaisimiin ja liitäntälaitteisiin.

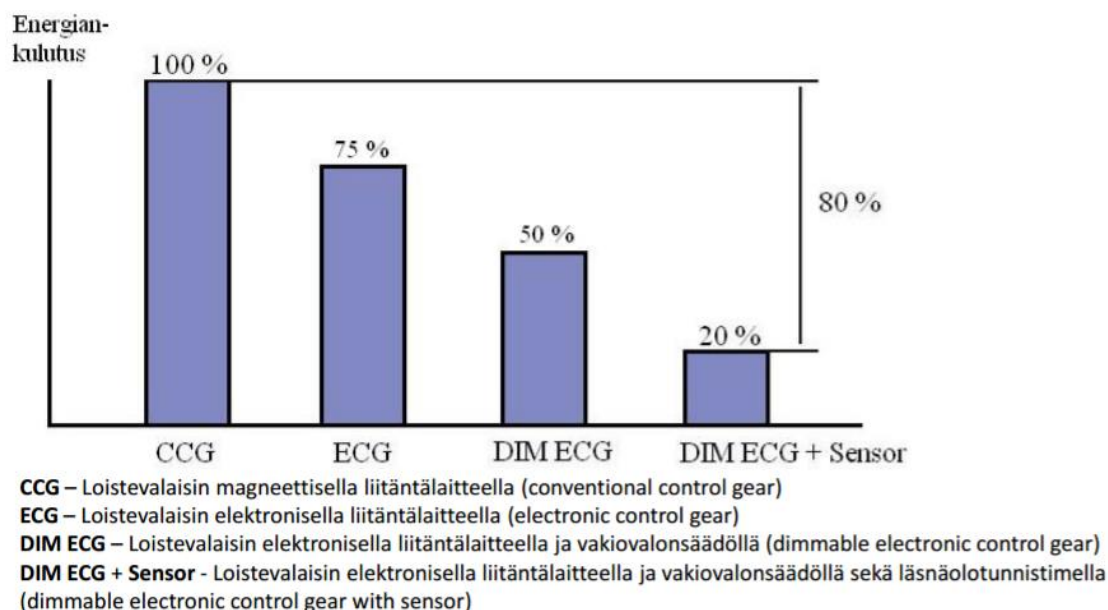
3.2.2 Valaisimet ja liitäntälaitteet

Olennainen tekijä valaistuksen suunnittelussa ja toteutuksessa on käyttötarkoitukseen soveltuvan lampun valinta. Pelkästään oikeanlaisen valonlähteen käyttämisellä voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä valaistuksen energiankulutuksessa, mikä näkyy selvästi valaistusmarkkinoilla: lampputeknologian kehitys on tuonut kuluttajien käyttöön yhä energiatehokkaampia ratkaisuja.

Valonlähteet voidaan jakaa toimintaperiaatteensa mukaisesti kahteen ryhmään, jotka ovat termiset ja luminenssisäteilijät. Ensin mainituissa hehkuvaksi kuumennetut aineet säteilevät valoa (vrt. hehkulamppu), jolloin sivutuotteena syntyy runsaasti infrapunasäteilyä, lämpöä. Luminenssisäteilijät puolestaan perustuvat sähköpurkauksen, loisteaineen tai puolijohteen aiheuttamaan säteilyyn. [57.] Tässä kappaleessa käsitellään valonlähteiden ja liitäntälaitteiden valintaan vaikuttavia asioita energiatehokkuuden puolesta.

Käyttötarkoitukseen sopimaton valaisimen liitäntälaitte voi aiheuttaa lisäkustannuksia valaistuksen energiankulutukseen, kun taas oikeanlaisen liitäntälaitteen valinnalla ja järjestelmän konfiguroinnilla voidaan saavuttaa kohteesta riippuen suuriakin säästöjä kuvion 6 mukaisesti. Nykyisin elektronisten liitäntälaitteiden käyttöä perustellaan juuri energiatehokkuudella, koska annettu valaisinteho ja tehohäviöt pienenevät, jolloin myös syntyy

vähemmän lämpöä. Kustannukset pienenevät myös ylläpidon ja huollon puolesta: elektroninen liitäntälaitte sisältää sytytystoiminnon, jolloin lampunvaihdon yhteydessä sytytintä ei tarvitse erikseen vaihtaa. Lamppujen vaihto tosin harvenee elektronisia liitäntälaitteita käytettäessä, koska lamppujen elinikä pitenee keskimäärin 15 %. Tämä johtuu pitkälti hallitusta sytyttämisestä, joka kuormittaa lampun komponentteja huomattavasti vähemmän. Elektroniset liitäntälaitteet mahdollistavat myös loistelamppujen välkkymättömän syttymisen ja tasaisen valotehon syöttöjännitteen vaihtelusta riippumatta. [55, s. 41.]



Kuvio 6. Elektronisen liitäntälaitteen yhdistäminen vakiovalonsäätöön ja läsnäolotunnistimeen mahdollistaa jopa 80 %:in säästöt energiankulutuksessa. [11, s. 8; 44.]

Liitäntälaitteiden lisäksi itse valonlähteen ominaisuudet vaikuttavat energiatehokkuuteen. Yleensä energiatehokkuudesta puhuttaessa tuodaankin esiin puolijohteiset, elektroluminenssiin toiminnaltaan perustuvat ledit, joiden tekninen kehitys on ollut lampputekniikan kärjessä jo pidemmän aikaa. Ledien käyttöä perustellaankin usein niiden pitkäikäisyydellä ja pienellä energiankulutuksella, joka näkyy suoraan korkeana energiansäästönä ja matalina käyttökuluina. Muita hyviä puolia ledeissä on hyvä valotehokkuus (lumen/watti), monia muita lamppuja alhaisempi lämmönsäteily, helppo suunnattavuus pistemäisen valon ansiosta sekä pienikokoisuus. Lisäksi ne syttyvät käytännössä viiveettä, mitä monilta valaistussovelluksilta odotetaan valaistuksen mukavuuden ja dynaamisuuden puitteissa. Ledeillä on myös kohtalaisen edullista ja tehokasta tuottaa värillistä valoa. Ledien huonoksi puoleksi mainittakoon täydellisen ledivalaistuksen kokonaiskus-

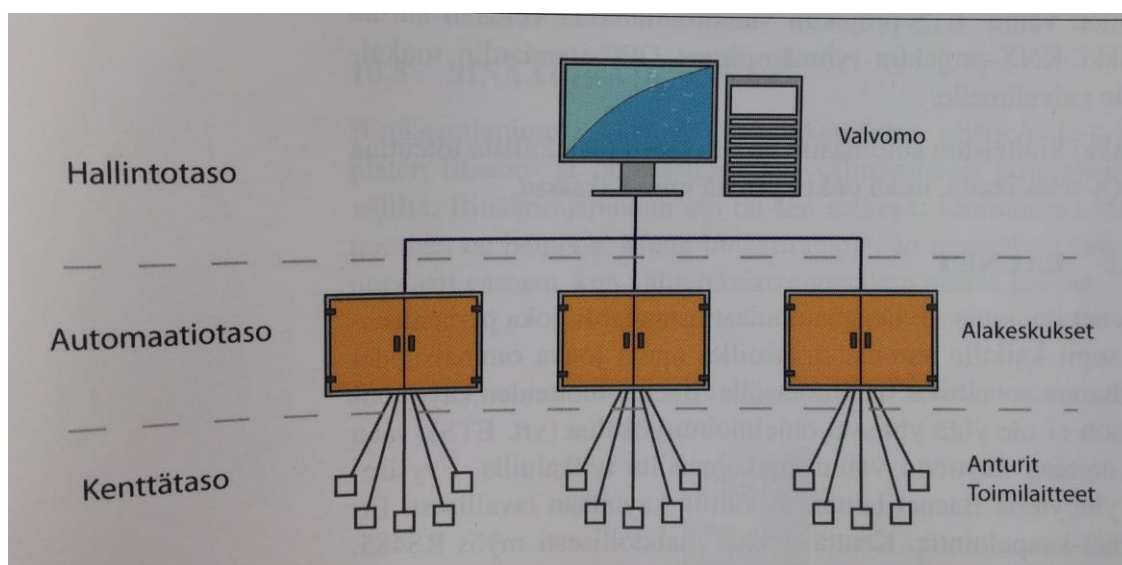
tannuksien kasvaminen muihin lampputyyppeihin verrattuna, mitä säästyvä energia toisaalta kompensoi. Leditekniikan kehittyessä lamppujen hintakin tulee alenemaan. [16, s. 58; 55, s. 88 - 89; 57.]

Energiatehokkuus kuuluu valaistussuunnittelun konseptiin siinä missä muutkin näkökulmat kuten valaistuksen käytännöllisyys. Siksi se on hyvä huomioida aina suunnittelusta käyttöönottoon ja jatkaa energiankulutuksen seurantaan valaistuksen käytön aikanakin, jotta lasketut säästöt toteutuvat sekä valaistus palvelee käyttäjiään asiaankuuluvasti.

Valaistuksen ohjauksen motiivit ja tavat sekä energiatehokkuuden merkitys muodostavat yhdessä luonnollisen jatkumon kiinteistö- eli rakennusautomaatioon siirtymiselle. Luku 4 käsittelee rakennusautomaatiota valaistuksen näkökulmasta samalla lykäten työn painopistettä valaistuksen ohjausta ja DMX512:a kohti.

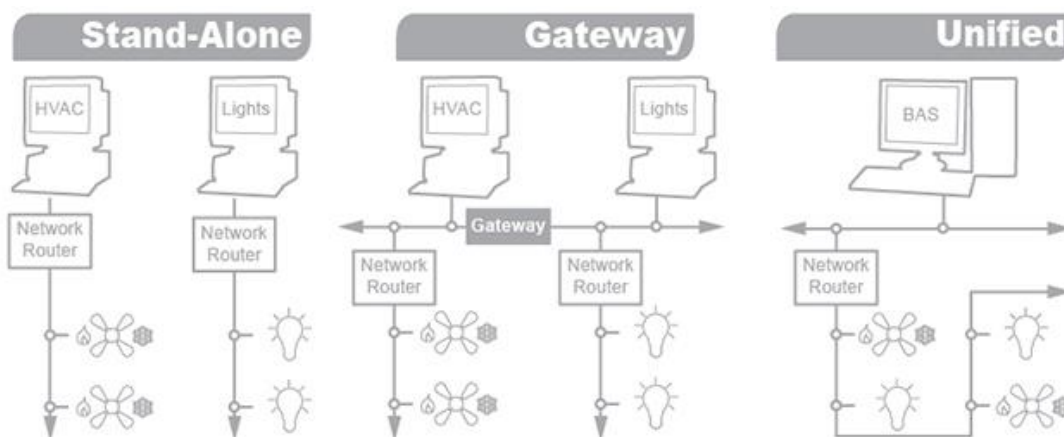
4 Valaistuksen liittäminen kiinteistöautomaatioon

Monia uusista kiinteistöistä varustetaan taloteknisillä automaatiojärjestelmillä. Tällaisia eri talotekniikan osa-alueita kokoavia hallinta- ja monitorointijärjestelmiä kutsutaan kiinteistöautomaatiojärjestelmiksi (Building Management Systems tai Building Automation Systems, eli vastaavasti BMS tai BAS). Järjestelmissä käytetään perinteisesti kolmitasista hierarkiaa kuvion 7 tapaan, jonka ylimmällä tasolla ovat järjestelmän valvomot ja keskitasolla järjestelmän toiminnallisuus eli alakeskukset. Alin taso muodostuu kiinteistön eri puolille hajautetuista ohjaus- ja säätölaitteista. [23, s. 167.]



Kuvio 7. Kiinteistöautomaatiojärjestelmän kolmitasoinen luonne. Hallintotason laitteet ovat käytännössä tietokoneita ja servereitä, joiden ei välttämättä tarvitse olla paikan päällä. Hallinta- ja automaatiotason välinen tiedonsiirto toteutetaan esimerkiksi BACnet -automaatioväylällä. Automaatiotason laitteet ovat usein kiinteistössä erillisissä valvonta-alakeskuksissa. [23 s. 167.]

Tavallisesti järjestelmät ovat keskittäneet LVI:n hallinnan ja monitoroinnin yhden ohjausjärjestelmän alle, mutta kehittyessään järjestelmät ovat kasvaneet ottaen huomansa myös kiinteistön valvonnan (turvallisuus) ja valaistuksen (kuvio 8). Kiinteistöautomaatioilla havitellaan muun muassa keskitetyn järjestelmän tuomaa hallinnallista yksinkertaisuutta sekä esimerkiksi mahdollisuutta tarkastella kiinteistön energiankulutusta holistisesta näkökulmasta.



Kuvio 8. Kiinteistöautomaatiojärjestelmällä (BAS) voidaan keskittää erilliset talotekniset järjestelmät yhden ohjauksen alle [33].

Kiinteistöautomaatiojärjestelmä kokoaa tietoa, esimerkiksi anturidataa kiinteistön teknisten järjestelmien toiminnasta sekä kulutus-, olosuhde- ja käyttötilasta. Tiedot auttavat pitämään kiinteistön talotekniikan toiminnassa halutulla tavalla samalla minimoiden energian ja veden kokonaiskulutuksen. Tarkoituksena on ylläpitää talotekniikan toimintaa siten, että vallitsevat sisäolosuhteet kuten lämpötila, ilmanlaatu ja valaistus saavutetaan energiaa tuhlaamatta. [29, s. 10.] Energiankulutuksen näkökulmasta tarkasteltuna tällaisen useita alajärjestelmiä kokoavan ohjausjärjestelmän voisi päätellä olevan paras ratkaisu. Kuitenkin mitä valaistukseen tulee, myös paikallista ohjausta tarvitaan, jotta käyttäjien mieltymykset otetaan huomioon.

Laajan, useita osa-alueita kattavan järjestelmän pimeä puoli tulee esiin ohjauksen vika-tilanteissa, kun koko järjestelmä kaatuu kerralla. Taloteknisen katastrofin välttämiseksi järjestelmän arkkitehtuuria on syytä hajauttaa omiksi riippumattomiksi alajärjestelmikseen, joiden toiminta jatkuu kiinteistöautomaation jatkuvan ohjauksen katketessakin. Simpson painottaakin kirjassaan, että keskitetty ohjausjärjestelmä tulisi pitää valaistuksen suhteen monitoroinnin lisäksi vain *hallinnallisella* tasolla [49, s. 417], mikä käsittää esimerkiksi

- valaistuksen kokonaiskuormituksen alentamisen tarvittaessa
- hätätilanteiden erikoisvalaistuksen kytkemisen
- valaistuksen sammuttamisen päivän päätteeksi alueilta, jotka eivät ole käytössä (ajastus, liiketunnistin).

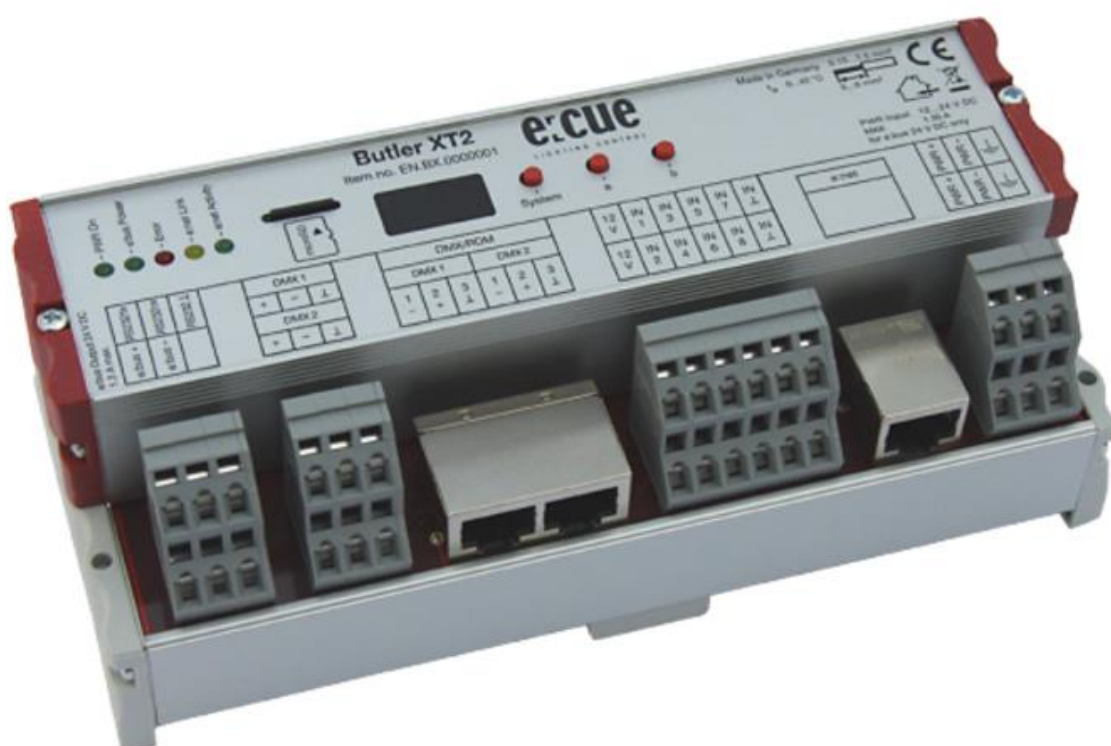
Sun Effects Oy:n edustaja Riku Sourama näkee asian hyvin samankaltaisesti kuin Simpson. Souraman mukaan valaistusjärjestelmän ja kiinteistöautomaation välillä siirtyy usein juuri ajastus- ja hämähäkykindataa – kiinteistöautomaation ja valaistusjärjestelmän integroinnilta odotetaan siis kohtalaisen yksinkertaisia asioita. Ajastusdatan lähettäminen kiinteistöautomaatiolta valaistusjärjestelmälle on harvoin tarpeellista, koska esimerkiksi DMX-ohjainlaitteet pystyvät aluekohtaisesti jo huomattavasti monimutkaisempiin ajastuksiin kuin kiinteistöautomaatiolla voidaan toteuttaa. [51.] Souraman kanta valaistuksen integroinnille kiinteistöautomaatioon on selkeä: ennen järjestelmien yhdistämistä on syytä todella pohtia odotuksia ja tarkastella saavutettavia etuja. Eduksi voidaan lukea muun muassa valaistuksen monitoroinnin mahdollisuus.

Valaistusjärjestelmän monitoroinnilla voidaan saavuttaa toiminnallisuutta ja tehokkuutta sekä tehdä ennakointeja järjestelmän huoltotarpeista. Pääasiassa monitorointi kattaa seuraavat neljä osa-aluetta:

- Valaisinten tilan valvonta, joka mahdollistaa aktiivisten (päällä vai pois päältä) valaisimien tarkastelun etänä. Tarkoituksena voi olla esimerkiksi kiinteistön turvallisuus, jolloin voidaan päätellä valaistujen alueiden olevan käytössä.
- Häiriöiden valvonta eli käytännössä viallisten tai väärin käyttäytyvien lamppujen ilmaiseminen. Valaistukseen liittyvä häiriö voi olla myös lamppujen tai himmentimien ylikuumeneminen.
- Valaistuksen aluekohtainen kuormitusvalvonta puolestaan liittyy tiiviisti energiankulutuksen seurantaan. Monitoroinnin antamien tietojen nojalla voidaan toimia automaattisesti energianhallinnallisten käytäntöjen mukaan. Esimerkiksi käyttämättömän, valaistun alueen kuormitusta vähennetään energiansäästön vuoksi.
- Lamppujen kunnon monitoroinnilla voidaan ennakoida uusien lamppujen vaihtamisen tarvetta. Valotehoaan menettänyt lamppu, joka kuluttaa energiaa entiseen malliin, on todennäköisesti huonokuntoinen, jolloin sen vaihtaminen on ajankohdaista.

[49, s.419.]

Konkreettisesti kiinteistöautomaatiojärjestelmiä ja valaistusjärjestelmiä katsoen, valaistuksen ohjausprotokollat kuten DMX512 sijoittuvat kuvion 7 alimmalle portaalle automaatio- ja kenttätasojen välille. Automaatiotason ja valaistusjärjestelmän yhdistämisessä tarvittavien rajapintojen kanssa on oltava tarkkana: monipuolinen valaistusjärjestelmä voi useaa käyttötarkoitusta palvellakseen sisältää eri ohjausprotokollia, jolloin eri rajapintojakin tarvitaan. Sourama toteaaakin, että valaistusjärjestelmän ja eri protokollien integroiminen kiinteistöautomaatioon riippuu käytännössä hyvin pitkälti laitevalmistajista. Esimerkiksi Traxon Technologies tarjoaa vaihtoehdoksi muiden muassa kuvan 7 esittämän Butler XT2:n.



Kuva 7. Traxon Technologiesin e:cue-järjestelmän tyypillisimpiä ohjainlaitteita edustaa DIN-kiskoon istuva Butler XT2. Laite voi toimia rajapintana kiinteistöautomaation ja valaistusjärjestelmän välillä, sekä erillisenä ohjainlaitteena asiaankuuluvan ohjelmoinnin jälkeen. [34.]

DMX512 sopii *tekniikkansa puolesta* periaatteessa täysin vaikkapa toimistorakennuksen yleisvalaistukseen. Onkin asia erikseen, onko painavaa syytä toteuttaa koko talon kattava valaistus DMX512:lla, koska eri rajapintojen mahdollisuuksien myötä kiinteistön valaistuksen ohjaus voi muodostua useammasta protokollasta. Oskar Krogell Bright Finland Oy:ltä toteaaakin, että DMX512 ei itsessään taitu hyvin esimerkiksi neuvottelutilojen tai koulun luokkatilojen yleisvalaistuksen ohjaukseen. Yksinkertaisesti DMX512 ei ole järkevä edellä mainitun kaltaiseen sovellukseen, koska tarpeellisia DMX-painonappeja

tai liiketutkia ei ole, toisin kuin esimerkiksi Helvarin DALI-sovelluksissa. Krogell näkeekin, että DMX512 ja DALI on luotu eri tarpeisiin, minkä vuoksi eri protokollien hyödyntäminen ja yhteispeli valaistusjärjestelmässä on ratkaisuna kätevin. [30.]

Yksioikoista rajaamista DMX512:n ja yleensä valaistuksen ohjausprotokollien soveltamiselle on syytä välttää. Kuten yllä todettiin, laitevalmistajat ovat luoneet ratkaisuja eri sovelluksiin, mikä koskee myös painonappeja ja sensoreita. Esimerkiksi kuvan 7 Butler XT2:ssa on myös sisääntulot "on/off"-tiedolle, ja tähän voidaan liittää huoneen valaistusta ohjaava perinteinen katkaisija. Läsnaolo- ja liikesensorit voidaan ottaa käyttöön samalla tavalla kuin katkaisijat, edellyttäen tosin, että sensorissa itsessään on viive. Monimutkaisempaa sensoridataa tarvittaessa e:cue mahdollistaa sovellukset serveritekniikkaa hyödyntäen. Näin ollen ohjausprotokollat taittavat moneksi, kunhan osaa etsiä oikeita ratkaisuja. DMX512-kokoonpanoja käsitellään tarkemmin luvussa 5.5.

Yhteenvetona voidaan todeta, että valaistuksen ohjausjärjestelmän yhdistäminen kiinteistöautomaatioon muiden taloteknisten osa-alueiden tapaan tuntuu houkuttelevalta jo pelkästään yhden kattavan ohjausjärjestelmän vuoksi. Monimutkaistumisesta ja integroimisesta tulee kuitenkin ongelmia kuten ohjauksen häiriön aiheuttama koko järjestelmän kaatuminen ja valaisimien reagointiaikojen kasvaminen, joka on jokseenkin kelvottoman valaistuksen tunnusmerkki. Ennen kaikkea DMX512:n kohdalla – jonka keskeinen etu muihin ohjausprotokolliin verrattuna on korkea siirtonopeus ja täten mahdollisuus nopeisiin, synkronisiin prosesseihin – pidentyneet reagointiajat sotivat protokollan tuomia hyötyjä vastaan. DMX512:n käytön edut tulevatkin parhaimmin esiin erillisissä valaistuspilareissa, joilla toteutetaan tavallisen yleisvalaistuksen sijaan erikoisvalaistusta, kuten tunnelma- tai korostusvalaistusta.

Seuraava luku ruotii DMX512-valaistuksen ohjausprotokollaa lähtien liikkeelle perustavanlaatuisista ominaisuuksista ja siirtyen protokollan sisäiseen kommunikointiin, sekä lopuksi erilaisiin DMX512-kokoonpanoihin ja laitteisiin. Aluksi esitellään asiaankuuluvat standardit, joihin luvussa paljon viitataan.

5 DMX512

Valaistustekniikan ohjausjärjestelmien standardointi juontaa juurensa laitevalmistajien välisiin suuriin eroavaisuuksiin ja ennen muuta viihdealalle. Teattereiden vaatimukset ovat olleet valaistuksen ohjauksen suhteen korkeat, ja missä määrittävinä tekijöinä ovat edelleen ohjattavien kanavien suuri määrä ja toimintojen nopeus sekä laitteiden yhteensopivuus. Ennen ohjausjärjestelmien standardointia valaisimien himmentimiä ohjattiin erillisten kaapelien välityksellä, laitekohtaisesti. Toisin sanoen, yksi kaapeli yhtä himmennintä kohti.

Maailmalla yleisesti käyttöön otetun ohjausstandardin, DMX512:n, alullepanijana toimi United States Institute for Theater Technology (USITT), joka julkaisi 1980-luvulla kaksi multiplekserin periaatteella toimivaa valaistuksen ohjausprotokollaa. Uuden tekniikan ja sen standardoinnin oli määrä yhtenäistää markkinoita ja siten antaa loppukäyttäjille enemmän liikkumatilaa: valaistuksen ohjainten ja eri komponenttien ei tarvitsisi olla peräisin samalta valmistajalta. Ensimmäinen protokolla oli analogiseen tekniikkaan perustuva AMX192, jota käsitellään kappaleessa 7.1 analogisten ohjausjärjestelmien yhteydessä. Jälkimmäinen oli myöhemmin standardoitu DMX512. [9.]

Alkuperäistä DMX512 -standardia vuodelta 1986 revisioitiin vuonna 1990. DMX512/1990 -standardi kuvailee digitaalisen datanvälityksen ohjaimien ja himmentimen välille. Se kattaa pääosin ohjausjärjestelmän EIA485 -standardiin pohjautuvat sähköiset ominaisuudet, tietoliikenteen muodon ja protokollan sekä liittimen tyypin. Standardin tarkoitus oli sovittaa yhteen eri laitevalmistajien tuotteiden mekaanisia ominaisuuksia ja kommunikointia. [14.]

DMX512/1990 -standardin ylläpito siirrettiin vuonna 1998 ESTA:lle (Entertainment Services and Technology Association), jolta vastuu siirtyi myöhemmin PLASA:lle. PLASA on kansainvälinen organisaatio, joka tekee työtä viihde- ja tapahtuma-alan standardien kehityksen ja ylläpidon eteen. [45.] Sitten DMX512:n on tehty teknisiä lisäyksiä kuitenkin yhteensopivuus aiempien versioiden kanssa säilyttäen. Alan jatkuvan kehityksen ja kasvavan kansainvälisen suosion vuoksi DMX512 hyväksyttiin ANSI -standardiksi nimellä E1.11 – USITT DMX512-A vuonna 2004. [24.] Käyttäjien ja laitevalmistajien vaikutuksesta standardia revisioitiin neljä vuotta myöhemmin, jolloin PLASA julkaisi standardin viimeisimmän version (ANSI E1.11-2008 (R2013) Entertainment Technology -

USITT DMX512-A - Asynchronous Serial Digital Data Transmission Standard for Controlling Lighting Equipment and Accessories).

Ellei erikseen mainita, tässä opinnäytetyössä nimityksellä "DMX512" viitataan uusimman standardin mukaiseen versioon DMX512-A. Puolestaan nimitys EIA-485 viittaa standardin ANSI/TIA/EIA-485-A-1998 määrittämään differentiaaliseen sarjaliikenneväylään, joka tunnetaan yleisesti nimellä RS-485.

Siirreltäviä DMX512 -järjestelmiä varten kaapelointia on eritelty standardissa ANSI E1.27-1 – 2006 (R2016) ja vastaavasti kiinteitä järjestelmiä standardissa ANSI E1.27-2 – 2009 (R2014). Kaksisuuntainen kaapelivälitteinen tiedonsiirto (RDM) laitteiden kesken esitellään standardissa ANSI E1.20 – 2010, jonka myöhempien lisäominaisuuksien johdosta julkaistiin standardit ANSI E1.37-1 – 2012 ja E1.37-2 – 2015.

5.1 Ominaisuudet

DMX512 on valaisimien himmentimille ja ohjaimille tarkoitettu digitaalinen sarjaprotokolla, jolla voidaan ohjata 512 himmennyskanavaa. Taulukossa 2 on referoituna protokollan tärkeimmät ominaisuudet pääpiirteittäin.

Taulukko 2. DMX512:n pääpiirteet [49, s. 289; 9.]

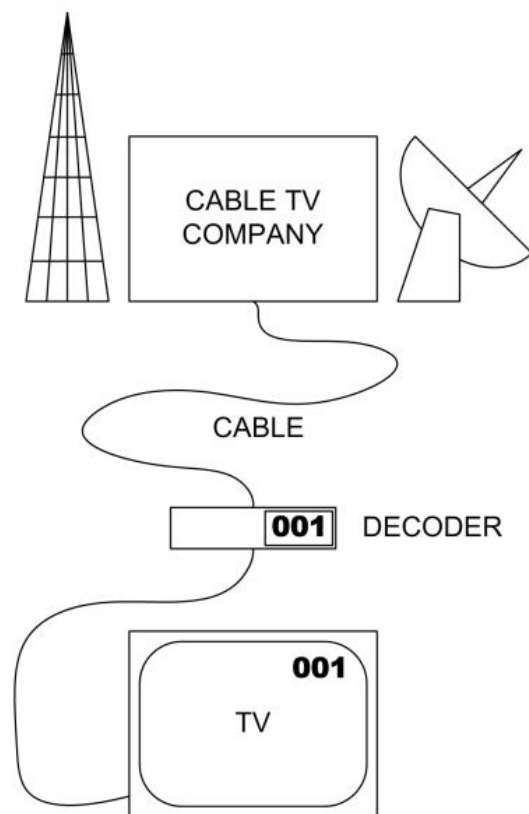
Nykyinen versio:	DMX512-A
Kommunikaation tyyppi:	Yksisuuntainen eli "simplex". (Huomioitava RDM:n vaikutus. Ks. kappale 5.3.)
Sähköinen perusta:	EIA-485-A -standardi
Liitin:	5-pinninen XLR-liitin. Kiinteissä asennuksissa esimerkiksi RJ45-liitintä voidaan käyttää järjestelmän näin edellyttäessä.
Liittimien suuntaus:	Naaraspää lähettävään laitteeseen, urospää vastaanottavaan.
Liittimen pinnit:	1 Maa (kaapelin vaippa) 2 Data1 - 3 Data 1+ 4 Data 2- (valinnainen) 5 Data 2+ (valinnainen) (Pinnit 4 ja 5 laajennetun toiminnallisuuden yhteydessä. Ks. kappale 5.3)
Kaapeli:	Kierretty parikaapeli, impedanssi noin 120 Ω , suojattu, EIA-485-sopiva. Cat-kaapelia käytettäessä vähintään Cat5. Pituus <300 m. (Ks. kappale 5.5.1)
Ohjattavien kanavien enimmäismäärä:	512 (EIA-485 sallii 32 liitettävää laitetta.)
Laitekohtainen tasojen määrä (resoluutio):	0 - 255 eli 8 bittiä (Hex: 00 - FF)
Tiedonsiirtonopeus:	250 kbit/s
Lähetettyjen databittien välinen aika:	4 μ s
Lähetettyjen kehysten aika:	44 μ s
Tilojen päivitysaika (513 kappaletta):	22,67 ms minimissään
Tilojen päivitysnopeus (513 kappaletta):	44.11 1/s nopeimmillaan
ASC (Alternate Start Code):	1-255. (Ks. kappale 5.2.3)

Taulukko 2 kuvaa kattavasti DMX512:n ominaisuuksia, muttei huomioi päivityksiä, jotka ovat tuoneet tekniikkaan runsaasti uusia ominaisuuksia. Tällaisina mainittakoon RDM (Remote Device Management, kappale 5.3) sekä Ethernet-tekniikkaa hyödyntävät DMX-järjestelmät (DMX Ethernetin välityksellä, kappale 5.4.1).

Kanavien osoitteistaminen

Jotta taulukon 2 käsitteet ja arvot voidaan ymmärtää paremmin, on syytä paneutua DMX512:n perustavanlaatuiseen ominaisuuteen: kykyyn lähettää dataa (käskyjä) useille yksilöidyille kanaville yhden kaapelin välityksellä.

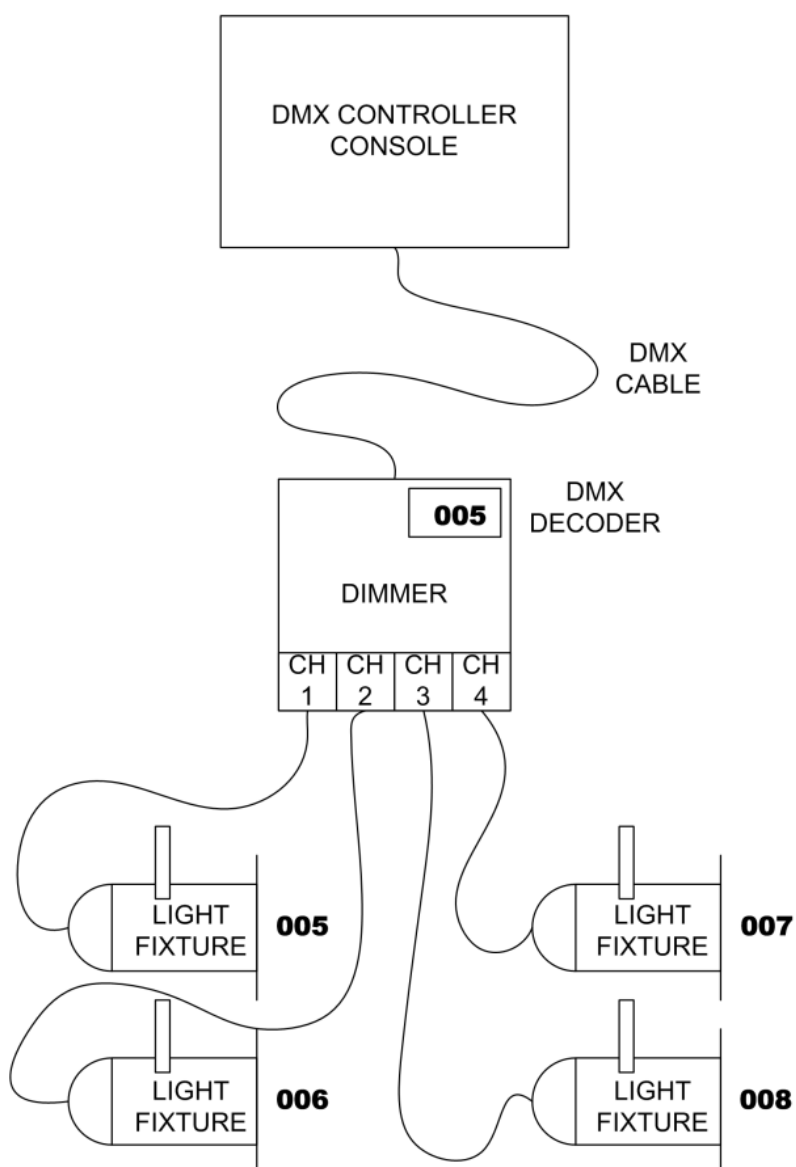
DMX512-järjestelmän voidaan käsittää toimivan samankaltaisesti kuin kuvan 8 kaapeli-Tv, jonka ”järjestelmään” kuuluvat televisioyhtiö (Cable Tv Company), välityskaapeli (Cable), dekooderi (Decoder) ja itse Tv-vastaanotin (Tv).



Kuva 8. Televisioyhtiö lähettää useiden kanavien signaaleja yhdellä kaapelilla. Ennen signaalin (kanavan tietojen) saapumista Tv-vastaanottimelle, dekooderi muuttaa signaalin biteiksi, minkä myötä yksi kanava voidaan lähettää näytölle ja kaiuttimille. [12.]

On tosin huomattava, että kuvasta 8 poiketen yhden Tv-vastaanottimen ja dekooderin sijaan Tv-yhtiö lähettää useita eri signaaleja lukemattomalle määrälle vastaanottajia. DMX512-järjestelmässä Tv-yhtiön korvaa esimerkiksi ohjauspöytä (controller console) tai muu DMX-ohjainlaite. Välityskaapelin vastineena on DMX512:lle määritelty kaapeli. Dekooderin voidaan ajatella olevan valon himmennin (dimmer) ja Tv-vastaanotin on valaistuksessa signaalin vastaanotin eli valaisin (light fixture).

DMX512-ohjausväylää pitkin kyetään lähettämään tietoja 512 eri kanavalle yhden kaapelin välityksellä. Protokollan mukaan kaikille kanaville lähetetään, vaikka jokaista niistä ei edes tarvittaisi. DMX-osoitteiden (DMX address) määrittäminen tehdään järjestelmään liitettävälle laitteille kuten himmentimille tai ns. älykkäille valaisimille (intelligent fixtures). Tässä käytetään selvyys vuoksi esimerkkinä himmennintä, kuvan 9 tapaan. Himmentimelle asetetaan osoite (kuvassa 9 osoite on 5), jotta se ohjaa halutulla tavalla himmentimeen liitettyjä valaisimia (osoitteet 5 – 8).



Kuva 9. Yksinkertainen DMX-järjestelmä. Ohjauspöydältä lähetettävät signaalit välitetään DMX-kaapelia pitkin himmentimelle, jolle määritetty osoite 5 toimii kantaosoitteena siihen liitetyille neljälle valaisimelle. Liitettyjen valaisimien (tai muiden ohjattavien laitteiden) osoitteet määrittyvät kantaosoitteen mukaan. [12.]

Osoitteen määrittäminen tehdään perinteisesti valaisimessa olevilla dippikytkimillä (dip switches) tai kuten uudemmissa laitteissa, integroidun näytön ja näppäimien avulla (kuva 10). Tässä huomattakoon, että DMX512:n lisätty laajennus RDM (kappale 5.3) mahdollistaa muun muassa osoitteiden asettamisen etänä, jolla vältetään työläs manuaalinen osoitteistaminen. Koska himmentimeen voidaan liittää useita valaisimia, sille määritetty osoite toimii kantaosoitteena (base address), jonka mukaan siihen liitetyt valaisimet määritetään seuraavin DMX-osoittein (himmennin kanavalla 5, ensimmäinen valaisin kanavalla 5, seuraava 6 jne.). Kuvan 9 järjestelmässä himmentimeen liitetyille valaisimille on määritetty 4 osoitetta, joille tulevat tiedot se poimii kaikille 512 eri kanavalle lähetettävän datan joukosta. Himmennin sivuuttaa muille kanaville menevät tiedot. [12.]



Kuva 10. American DJ:n valmistaman Inno Pocket Z4-valaisimen osoite määritetään näytön ja näppäinten avulla vastaamaan sille ohjaukselta varattua kanavaa. Kuvan valaisin vaatii täysin oikeuksiin päästääkseen kaikkiaan 22 kanavaa. [35.]

Kanavamäärä itsessään on laitekohtainen eikä rajoitu neljään. Edellä mainitut älykkäät valaisimet ja monet himmentimet voivat kattaa vaikka 20 kanavaa. Osoitteistaminen ei muutu silti lainkaan vaan toimii samalla periaatteella – laitteen kantaosoite määritetään esimerkiksi numerolle 150, jolloin kahdeskymmenes osoite ”tottelee” käskyjä, jotka lähetetään osoitteeseen 169. Usealle valaisimelle (tai muulle laitteelle) voi halutessaan asettaa myös saman osoitteen, jolloin ne reagoivat ohjaukseen identtisesti.

Vaikka DMX512-standardi määritteleeekin liitettävien laitteiden määräksi 512 (eli yhteen DMX-väylään, jonka kapasiteetti on 512 kanavaa, voitaisiin liittää 512 yhden osoitteen kattavaa valaisinta), rajoitteena tulee vastaan EIA-485-standardi, johon DMX512 nojautuu näiltä osin. Standardin mukaan yhdelle DMX-linjalle voidaan liittää korkeintaan 32 laitetta, jotta signaalin laatu ei heikkene. Nämä 32 laitetta voivat itsessään sisältää useita osoitteita, ja niihin voi laitteen luonteen mukaan olla liitettynä esimerkiksi valaisimia, kuten aiemmin todettiin. Ellei käytössä ole useita 512 kanavaa kattavia DMX-väyliä (universumeita) tulee kytkettävien laitteiden määrä rajoittaa tämän yhden universumin osoitteisiin ja 32 laitteeseen. [9, s.11; 12; 49, s. 292.]

Seuraavassa osiossa tarkastellaan muun muassa juuri useampia universumeja käsittäviä järjestelmiä. Ensiksi kuitenkin lähestytään DMX-protokollan sisäistä kommunikaatiota pilkkomalla se alkutekijöihinsä ja kokoamalla se lopulta paketiksi kappaleessa 5.2.2.

5.2 Kommunikointi

Kuten taulukossa 2 tuotiin esille, DMX512:n ”fyysisen” sähköisen perustan muodostaa EIA485-standardi. Signaalien merkityksien määrittäminen puolestaan kuuluu DMX512-standardin piiriin. DMX512:ssa tietoa välitetään ennalta määritettyjen jännitepulssien avulla: positiivinen jännite tulkitaan ykköseksi (1) ja nollajännite nolaksi (0). Pulssien kesto ja järjestys on tarkoin määritetty. Tällaisessa muodossa (nollia ja ykkösiä) siirrettävää tietoa kutsutaan binääriseksi. Nollan tai ykkösen ”sisältävä” pulssi on nimeltään bitti. DMX512:n kaltaisessa sarjaliikenteessä yhdelle kanavalle lähetetty 8 databitin sarja muodostaa tavun, joka edustaa yhtä arvoa väliltä 0 - 255. Esimerkiksi kanavaa 1 kuunteleva valaisin saa arvon 255, jolloin valaisin toimii täydellä teholla, kun taas arvolla 128 se valaisee puolella kokonaistehostaan. Esimerkki on kuitenkin varsin teoreettinen: DMX512-järjestelmä kohdentaa 8 databittiä, eli 256 eri arvoa kullekin kanavalle, mutta lähetettävässä tiedossa ei kerrota kuinka bitit liittyvät tiettyyn valaistuksen tasoon. Tämä suhde vastaanotetun arvon ja valaistuksen tason välillä on määritetty erikseen liitäntälaitteessa tai valaisimessa. [9; 12.]

5.2.1 Tiedonsiirron ajoitus

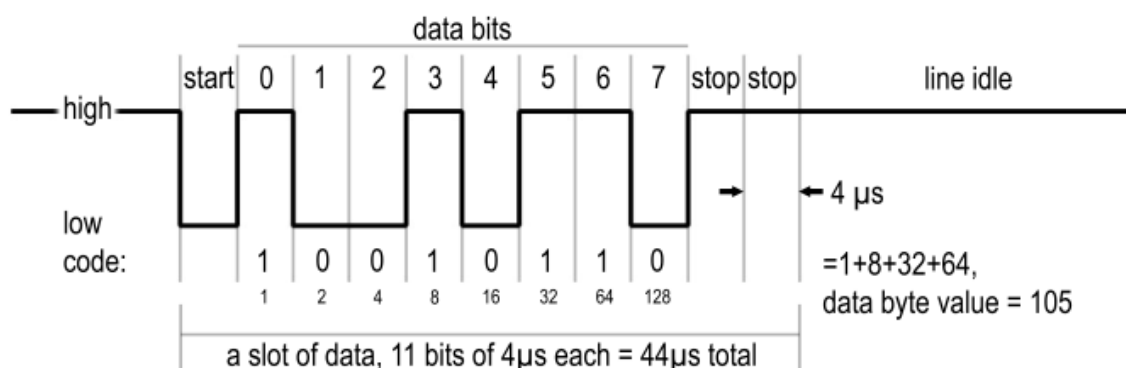
Liitäntälaitteille lähetettävät tiedot on tarkoin määritetty niin ajoituksen kuin järjestyksenkin kannalta. Siirrettävät bitit lähetetään ”peräkkäin jonossa” yksi kerrallaan ja niiden aikaväli on DMX512 -standardissa määritetty neljäksi mikrosekunniksi (4 μ s). Tämänkaltaista sarjaliikennettä kutsutaan asynkroniseksi. Asynkronisesti toimivien laitteiden etu on yksinkertaisuus: niiden ei tarvitse olla ylimääräisen laitteiston avulla täydellisesti tahdistettuja toistensa suhteen vaan riittää, että signaalien keskinäinen ajoitus on 5 %:in tarkkuudella oikea. [1, s. 13; 12, s. 11.]

Jotta bittijonon muodostamia tavuja voidaan siirtää riittävän tahdistetusti, täytyy tavuun lisätä tiedot sen alkamisesta ja loppumisesta. Lähettävän ja vastaanottavan laitteen välinen synkroninen toiminta on järjestelmän sujuvan ja häiriöttömän toiminnan kannalta tärkeää. Tavun 8 bittiin lisätään tämän vuoksi yksi aloitusbitti ja kaksi lopetusbittiä taulukon 3 tapaan.

Taulukko 3. Tavun karkea rakenne [1, s. 14].

Bitin sija tavussa	Selite
1.	Aloitusbitti eli Start Bit tai ”SPACE”
2. - 9.	Databitit
10., 11.	Lopetusbitit eli Stop Bits tai ”MARK”

DMX512-standardin määrittelyn mukaan aloitusbitti on nolla (low) ja lopetusbitit ykkösiä (high). Yhdessä lähetettävässä kokonaistavussa on siis 11 bittiä, joiden muodostama kokonaisuutta kutsutaan ”tilaksi” (slot) tai kehykseksi (kuva 11). [1, s. 15 - 16; 9, s. 71.]



Kuva 11. Tila koostuu 11:sta, kestoaltaan 4 μ s pituisesta bitistä, jonka alkua indikoidaan 1 aloitusbitillä ja päättymistä 2 lopetusbitillä. Datatavu (8 bittiä) muodostaa arvon väliltä 0 - 255. [9, s. 72.]

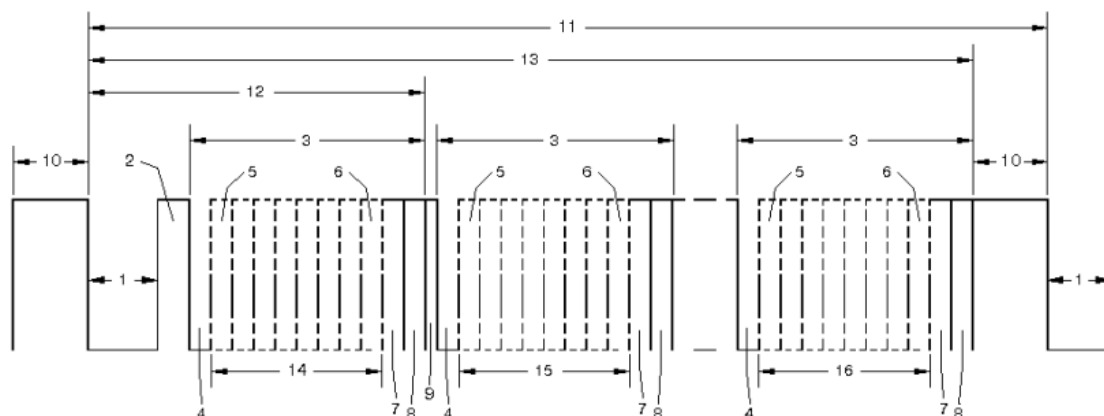
Vastaanottaessaan aloitusbitin (0) liitäntälaite tietää seuraavan 8 bitin sisältävän dataa, joka on kohdistettu esimerkiksi valaisimelle sen asetusarvoina. Databittien jälkeen liitäntälaite odottaa 2 lopetusbittiä (1,1). Kuvassa 11 DMX512-väylä jää vapaaksi (idle), mutta lopetusbittien jälkeen on vaihtoehtoisesti mahdollista vastaanottaa uusi aloitusbitti, joka kertoo seuraavan tavun saapumisesta. DMX512 -protokollan asynkroninen luonne merkitseekin osaltaan, että dataa voidaan lähettää aina väylän ollessa vapaa. Lähetyksenopeus on tosin välittömässä suhteessa ohjainlaitteen laskentatehoon.

Mikäli väylä ei jäisi vapaaksi tilojen välissä eli bitit kulkisivat yhtäjaksoisesti (4 μ s taajuudella), voitaisiin saavuttaa DMX512:a teoreettinen tiedonsiirtonopeuden huippu 250 kbit/s. Samalla tilojen päivitysaika ja -nopeus olisivat ripeimmillään, mikä näkyy käytännössä valaisimien nopeana reagoitina. [1, s. 18; 9, s. 72.]

5.2.2 Paketit

DMX512-dataliikenteen osat muodostavat paketteja (packets), jotka voidaan ajatella perusyksiköiksi. Yksi paketti tarkoittaa yhtä lähetystä, jossa on aloitustila (starting slot tai "BREAK") ja -koodi (start code), merkit (marks) sekä lisäksi maksimissaan 512 tilaa, yksi kunkin kanavan päivittämiseen. Sovelluksesta riippuen ohjainlaitteen ei tarvitse lähettää kokonaista 513 tilan pakettia, mikäli käytössä ei ole niin montaa kanavaa, mutta se ei voi lähettää suurempaa pakettia. Samalla sen on noudatettava tarkkaan määritettyä ajoitusta sekä bittien pituuksia. Himmenninräkkiä (useiden himmentimien ohjauksen kattavan signaalin vastaanottava laite, joka jakaa signaalin eteenpäin yksittäisille himmentimille) vastaanottajana käytettäessä on otettava huomioon, että sen tulee kyetä ottamaan vastaan täysiä paketteja järjestelmän sujuvan toiminnan vuoksi. [49, s. 288 - 299.]

Paketin ja sen sisältämien tilojen muoto (kuvio 9) on normatiivinen, koska dataa sisältävissä tiloissa ei ole lainkaan tunnistetietoja. Tilojen järjestys paketissa määrittää niiden määränpään ja tarkoituksen: ensimmäinen tila aloitustilan jälkeen on kanavalle 1, toinen kanavalle 2 ja viimeinen (täydessä paketissa) kanavalle 512.



Kuvio 9. DMX512-dataliikenteen ajoituksen muoto [1, s. 16].

Kuviossa 9 dataliikenteen rakenne näkyy selkeästi: bitit muodostavat tavuja, tavut paketteja ja paketit lisineen käsittävät kokonaisii DMX512-lähetyksiä. DMX512-standardin sivuilla 16 - 17 luetteloidaan kuvan numeroiden merkitykset seuraavasti:

- 1) aloitustila (BREAK)
- 2) merkki (MARK) aloitustilan jälkeen eli MAB
- 3) tilan 0, 1... tai 512 aika
- 4) datatavun aloitusbitti (tai -koodi)
- 5) tavun ensimmäinen databitti
- 6) tavun viimeinen databitti
- 7) lopetusbitti
- 8) lopetusbitti
- 9) merkki tilojen välillä
- 10) merkki ennen aloitustilaa (MBB)
- 11) aloitustilojen välinen aika
- 12) resetointisarja (RESET = BREAK + MAB + START CODE)
- 13) DMX512-paketti
- 14) tilan 0 aloituskoodi (START CODE)
- 15) tilan 1 data
- 16) tilan n data (maksimissaan 512).

Seuraavan luvun ymmärtämiseksi on syytä avata aloitustilan ja -koodin merkityksiä. Aloitus-tila yksinkertaisesti osoittaa vastaanottajalle lähetyksen ensimmäisen tilan. Tämä indikoi vastaanottajalle, että seuraavaksi linjalla alkaa uusi DMX-paketti, joka sisältää tietoa määritellyille kanaville. Kestoltaan aloitus-tila (0, low) on vähintään 92 μ s, ts. 2 tavua aloitus- ja lopetusbitteineen, plus 4 μ s. Aloitus-tilan jälkeen - ennen aloituskoodia - tulee MAB (kuvio 9, 2), joka erottaa aloitus-tilan ja -koodin toisistaan. MAB on 12 μ s mittainen korkea (1, high) signaali, jonka merkitys tulee esiin aloituskoodia käsiteltäessä. [1, s. 17; 9, s. 79 - 80.]

DMX512-standardissa määritelty "start code" on paketin ensimmäinen tila (slot 0), joka ei sisällä himmentimille tarkoitettua arvoa. Koodi kuvaa paketin sisältämää tietoa kuten otsikko kuvaa tekstikappaletta. Usein DMX512-sovelluksissa aloituskoodi on arvoltaan nolla, "null start code", joka käytännössä vain indikoi seuraavien tilojen olevan himmentimille (tai sen kaltaisille yksinkertaisille laitteille) tarkoitettuja 8 bitin datatavuja yksi toisensa perään. Aloituskoodi, joka voi bittinä sisältää arvon 0 - 255 olisi raskaasti ylimitoitettu, mikäli vain sen arvoa 0 käytettäisiin. Nykyisessä DMX512-standardissa kuvaillaan aloituskoodin arvoille 1 - 255 uusia käyttömahdollisuuksia "vaihtoehtoisina aloituskoodina" (alternate start codes). Aloituskoodi voi näin "otsikoida" erityisiä datapaketteja, jotka sisältävät välitettäviä valmistajakohtaisia laitetietoja tai muiden erikoistoimintojen dataa. Myös kappaleessa 5.3 käsiteltävä Remote Device Management (RDM) perustuu erityisten aloituskoodien käytölle. [1, s. 13 - 15; 9, s. 73 - 75.]

Kappale 5.2.3 niputtaa vaihtoehtoisten aloituskoodien ominaisuuksia, minkä jälkeen päästään pureutumaan RDM:n tuomiin mahdollisuuksiin.

5.2.3 Vaihtoehtoiset aloituskoodit

DMX512-standardin siirtyminen ESTA:n huomaan vuonna 1998 johtui pääosin standardin ANSI-hyväksynnän puutteesta ja laajennusten tarpeesta. Siirron myötä standardi kehittyi ja päivitettiin nykyiseen "A"-muotoonsa, mikä toi mukanaan uusia ominaisuuksia, kuten vaihtoehtoiset aloituskoodit. Koodien keskeinen tarkoitus on mahdollistaa tekniikan myöhempi laajentuminen ja joustavuus kuitenkin aiempaa yhteensopivuutta vaarantamatta. Standardin kehittäjät tuntuvat olleen kaukonäköisiä alun alkujaan, koska jo standardin ensimmäisessä päivitetyssä versiossa (vuonna 1990) määriteltiin käytettä-

västä 5-pinnisestä liittimestä pinnit 4 ja 5 varalle – valinnaiseksi toiseksi datalinkiksi myöhempää kehitystä ja laajennusta varten. Samoin uusille aloituskoodille jätettiin tilaa, jota on täytetty tasaisesti uusilla ominaisuuksilla.

Simpson hahmottelee kirjassaan [49, s. 290] silloista käsitystensä vaihtoehtoisten aloituskoodien tuomista eduista seuraavasti:

- Mahdollisuus lähettää lyhyitä, yksinkertaisia tekstipätkiä, joita siihen soveltuvat laitteet voivat esittää (näytöillään).
- Testipakettien lähettäminen, mikä pääsee erityisesti oikeuksiinsa laajoissa järjestelmissä.
- Kyky kartoittaa DMX-universumi lähettämällä järjestelmää koskevia informaatiopaketteja (system information packets). Simpson tarkoittanee tällä ohjainlaitteen kykyä ”ottaa selvää”, mitä laitteita sen ohjaama universumi sisältää.
- Aloituskoodien mahdollisuus kantaa laitevalmistajien tai itse laitteiden tietoja.

Nykyinen, vuoden 2008 versio DMX512-standardista määrittelee kaikki Simpsonin kuvailemat edut yksityiskohtaisemmin lisäten vielä runsaasti uutta mukaan. Edelleen osa kaikista 255 arvosta ei ole käytössä jääden siten varalle tulevaisuutta silmällä pitäen. Taulukossa 4 on esitetty erityystarkoituksiin varatut aloituskoodit sekä koodit, joiden hyödyntäminen on laitevalmistajilta kielletty ennen kuin niiden käyttö on standardisoitu. Taulukon alla on tarkemmat selitteet kunkin aloituskoodin merkityksestä.

Taulukko 4. Erityistarkoituksiin varatut aloituskoodit [1, s. 30].

Aloituskoodi		Käyttökohde
Heksadesimaali	Desimaali	
17	23	ASCII -tekstipaketti
55	85	Testipaketti
90	144	UTF-8 -tekstipaketti
91	145	Laitevalmistajan tunnistetiedot (aloituskoodin sisältävä paketti koskee vain kyseisen valmistajan laitteita)
92 - A9	146 - 169	Myöhempään käyttöön varatut aloituskoodit (ei laitevalmistajien käyttöön)
AB - CD	171 - 205	Myöhempään käyttöön varatut aloituskoodit (ei laitevalmistajien käyttöön)
CF	207	Järjestelmän informaatiopaketti
F0 - F7	240 - 247	Aloituskoodi prototyyppien testaukseen tai muuten kokeelliseen tarkoitukseen (ei toimitettaviin/myynnissä oleviin laitteisiin)

ASCII-tekstipaketti

Aloituskoodi 23 (17 Hex) otsikoi tekstipakettia tilojen 3 - 512 välille. ASCII-tekstipakettia tukevat laitteet voivat lähettää (ja vastaanottaa, mikäli kyseessä masteri) diagnostiikkatietoja ASCII-koodattuna. Näytöin varustetut laitteet, jotka kykenevät esittämään tekstiä, käyttävät 646 kirjainmerkin ISO/IEC-merkistöä.

DMX512:n tapaan tiedot ovat selkeässä järjestyksessä: tila 1 osoittaa sivunumeron, jolla näytettävä teksti on (sivumäärä rajattu 256:een), tila 2 ilmaisee tekstirivin merkkimäärän, jota käytetään tekstin muotoiluun ja tilat 3 - 512 ovat tekstikenttää, jossa merkit ovat peräkkäin ASCII-muodossa. [1, s. 30.]

Testipaketti

Testipaketti, joka määritetään aloituskoodilla 85 (55 Hex) kattaa 512 tilaa, joiden kaikkien arvo on sama kuin aloituskoodin. Paketin tarkoitus on tarkastaa tiedonsiirron nopeutta mittaamalla aikaa, joka kuluu tiedon lähettämisessä ja/tai vastaanottamisessa. Hyväksytyt aikarajat on ilmoitettu DMX512-standardin liitteessä D. [1, s. 31.]

UTF-8 -tekstipaketti

Aloituskoodin arvolla 144 (90 Hex) paketti tulkitaan UTF-8 -tekstipaketiksi, joka on samankaltainen kuin ASCII-tekstipaketti paitsi että se on koodattu eri tavalla (Unicode 5.0 ASCII:n sijaan). Paketin muotoilu on muuten sama kaikilta osin. Aloituskodein käyttö on suositeltavaa vain, jos lähetettävää tekstiä ei voida ilmaista ASCII-koodina. [1, s. 31.]

Laitevalmistajan tunnistetiedot

Aloituskoodin arvolla 145 (91 Hex) otsikoitu paketti on varattu laitevalmistajan tunnistetiedoille (manufacturer ID). Paketti muotoutuu aloituskodein jälkeen siten, että seuraavat kaksi tavua sisältävät laitevalmistajan määrittämiä tietoja, jotka eivät ole tarkoitettuja muille kuin valmistajan laitteille. DMX512-standardi ei käsittele asiaa syvemmin, koska kyseessä on standardin ja laitevalmistajien välinen rajapinta. [1, s. 31.]

Järjestelmän informaatiopaketti

Vaihtoehtoinen aloituskoodi 207 (CF Hex) määrittää paketin järjestelmän informaatiopakettiksi (system information packet, SIP). 24 tilaa kattavat SIP-paketit toimivat pääasiassa tarkastuspaketteina. Ne liittyvät aina edellä lähetettyyn DMX-datapakettiin, jonka aloituskodein arvo on 0. SIP voidaan lähettää lomittain ”datapakettien keskellä”, mikä mahdollistaa järjestelmän tarkkailun toiminnan aikana. [1, s. 31 - 32.]

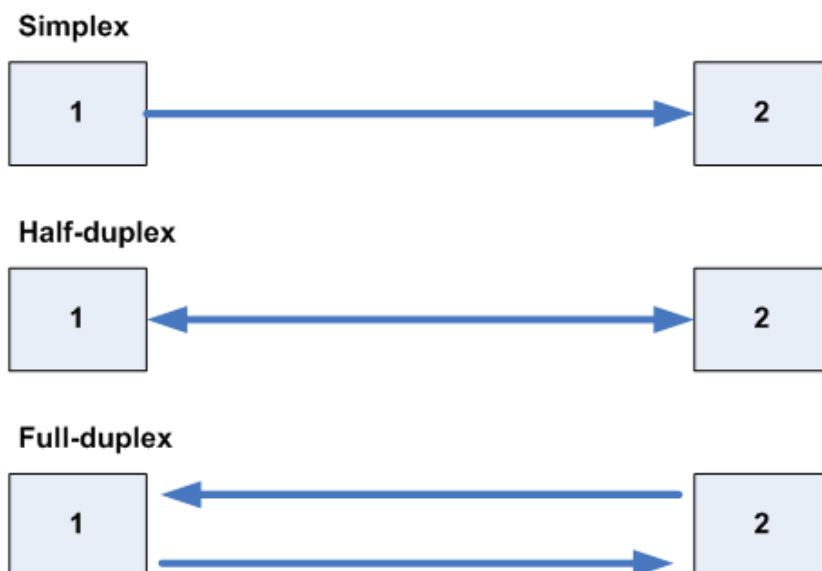
Aloituskoodien käyttö perustuu siis pakettien sisältämän datan kuvailemiseen, jotta vastaanottava laite tietää mitä lukee. Kaikki laitteet eivät ole ”älykkäitä”, minkä vuoksi tietojen luokittelulla ja järjestyksellä on valtava painoarvo. DMX512-standardissa on huomautettu vaihtoehtoisten, nolasta poikkeavien aloituskodein tuomista muutoksista – muutenkin kuin koodien merkityksestä itsestään. Nämä huomiot koskevat vaihtoehtoisten aloituskodein ajoitusta ja prosessointia, mitkä vähentävät datan häviämistä ja vääriä tulkintoja. Standardi ei kuitenkaan tarjoa tarkkoja numeroarvoja tai rajoja laitteiden tiedonkäsitteilylle, vaan sysää ne laitteiden käyttöohjeiden laatijoiden harteille.

Alan laitevalmistajien suunnitelmat lienevät taannoin muuttuneet myös seuraavassa kappaleessa käsiteltävän RDM:n julkaisun jälkeen. Kyseinen laajennus mahdollistaa uusia ulottuvuuksia perinteiselle kaapelivälitteiselle DMX512-kommunikaatiolle vaihtoehtoisia aloituskoodeja hyödyntäen.

5.3 RDM

Remote Device Management Protocol (RDM) on standardin ANSI E1.20 Entertainment Technology - Remote Device Management Over DMX512 Networks (2010) kuvaama laajennus DMX512-protokollaan. Se mahdollistaa kaksisuuntaisen, kaapelivälitteisen kommunikaation DMX512-tiedonsiirrossa, kuitenkin rajoittamatta eri laitevalmistajien yhteensopivuutta. Kaksisuuntaisuus on tässä tapauksessa ymmärrettävä siten, että valojen ohjauslaite (tai muu masteri) voi havaita, monitoroida sekä hallita DMX512-verkoon liitettyjä RDM-yhteensopivia tiedonvälittäjiä ja -vastaanottajia. RDM eroaa karkeasti aiemmin käsitellystä ns. yksisuuntaisesta tiedonsiirrosta siten, että ohjauslaite voi hallita liitántälaitteita ”älykkäästi” ja myös vastaanottaa niiden lähettämiä tietoja. Tämänkaltaisen tiedonsiirtotapa on helpottanut ennen kaikkea laajojen DMX512-järjestelmien ylläpitoa ja käyttöönottoa: uuden protokollan myötä esimerkiksi valaisinten vika- ja lämpötilatietoja voidaan seurata sekä laitteiden osoitteet kyetään asettamaan etänä.

Pohjimmiltaan DMX512 on siis yksisuuntainen (simplex) tiedonsiirtoprotokolla eli yksi ohjaava laite lähettää yhdelle tai useammalle vastaanottajalle dataa yhtä linjaa pitkin. Tavallisesti data siirtyy yhteen suuntaan datalinkin 1 (Data 1- ja Data 1+) kautta, mikäli ei oteta huomioon laajennusta, jonka myötä datalinkkiä käytetään kaksisuuntaisesti (half duplex). Tiedonsiirron kaksisuuntaisuus voidaan toteuttaa vaihtoehtoisesti kahdella datalinkilla (full duplex) (Data 1-, Data 1+ ja Data 2-, Data 2+), mikä edellyttää vastaanotavilta laitteilta kahta tulo- ja lähtöporttia. Kuvio 10 yksinkertaistaa asiaa. ”Myöhemmän kehityksen tarpeisiin” jätettyä toista datalinkkiä RDM voi hyödyntää paluutietojen välittämiseen, mutta tavallisesti kaksisuuntainen tiedonsiirto välitetään yhtä datalinkkiä käyttäen. Yhden datalinkin (DMX-linjalla) välittämä kaksisuuntainen kommunikaatio rajoittaa tiedonsiirtoa siten, että vain yksi laite voi lähettää tietoa kerrallaan (vrt. radiopuhelin). Tiedon lähettämisen käynnistää aina ohjaava laite – vastaanottajat eivät lähetä dataa, eli ”vastaa” jos niiltä ei ”pyydetä”. Järjestely edellyttää tavallaan masterin ja slaven käsitteet, vaikkei raja olekaan uudessa tekniikassa kiveen hakattu. Tiedon lähetyksen käynnistäminen eli kysely (polling) on prosessi, joka sisältää sekä pyynnön että vastauksen ja se voidaan asettaa tehtäväksi säännöllisin väliajoin tai vaihtoehtoisesti vain tarvittaessa. [1, s. 26 - 28; 2, s. 4 - 5; 49, s. 284, 289, 292.]



Kuvio 10. Tiedonsiirron tyyppejä. Numero 1 edustaa ohjainlaitetta ja numero 2 vastaanottajaa, esimerkiksi valaisinta. [36.]

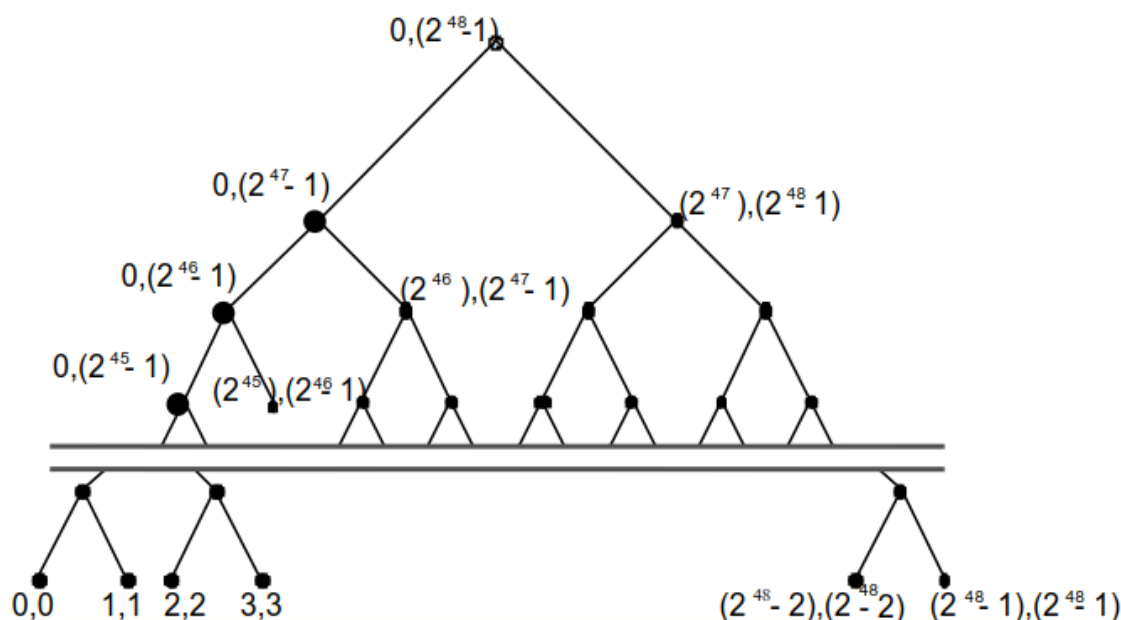
DMX-RDM-järjestelmien data siirtyy laitteelta toiselle pitkälti samankaltaisella periaatteella kuin kappaleessa 5.2.2 kuvailtu DMX-paketti. Seuraavassa katkelmassa esitellään lyhyesti RDM-tiedonsiirron luonne muttei mennä yksityiskohtiin, jotka olisivat monelta osin päällekkäisiä jo aiemmin käsitellyn kanssa. Jäljempänä, kappaleissa 5.3.1 ja 5.3.2 edetään RDM:n tuomiin ominaisuuksiin, minkä kautta RDM-pakettien sisältö tulee eritellyksi sen olennaisilta osin.

Vaihtoehtoisia aloituskoodeja käyttäen RDM-yhteensopivat ohjainlaitteet voivat tuottaa tavallisten *nolla-aloituskoodin* sisältävien pakettien lisäksi joko *RDM-aloituskoodilla* (RDM Alternate START Code) tai *ei-RDM-aloituskoodilla* (non-RDM Alternate START Code) otsikoituja paketteja. RDM-aloituskoodilla otsikoidut paketit sisältävät tiedon pyynnöstä, johon vastaanottaja reagoi. Vastaanottaja lähettää samoin otsikoidun vastauksen, joka sisältää pyydetyt tiedot. RDM-paketit ovat yhteensopivia DMX512-pakettien ajoituksen kanssa, vaikka ne ovat lyhyempiä. Pakettien keskinäisten kokoerojen vuoksi joitakin ajoitusvaatimuksia on muokattu, jotta toiminnallisuus säilytettäisiin. Pakettien kokoerojen, bittivirran selkeyden ja mahdollisten viiveiden tasaamisen vuoksi pyyntö- ja vastauspakettien väliin jäävät tauot on määritetty kohtalaisen pitkiksi, ja niiden aikana DMX-väylä on vapaa (idle). Tauotus näkyy eritoten pyyntöjen ja vastausten välillä, koska kuten aiemmin todettiin, RDM:n kaltainen kaksisuuntainen tiedonsiirto edellyttää laitteiden olevan linjalla yksi kerrallaan. [2, s. 8; 9, s. 58.]

5.3.1 Laitteiden havaitseminen ja osoitteistaminen

RDM-laitteet ja niille lähetettävät käskyt ovat yksilöityjä 48-bittisillä Unique ID -tunnisteilla. UID on nimensä mukaisesti uniikki tunnistetieto, joka koostuu kahdesta osasta: valmistajan tunnisteesta (Manufacturer ID) ja laitteen yksilöllisestä sarjanumerosta (Device ID). UID on pääsääntöisesti integroitu laitteen elektroniikkaan, mikä tekee siitä mahdollottoman muokata. Yksilöintitunnuksen tarkoituksena on mahdollisuus lähettää käskyjä tietylle laitteelle tai laitteiden muodostamalle ryhmälle – esimerkiksi saman valmistajan laitteille – DMX-osoitteesta riippumatta. UID:n avulla pystytään ratkaisemaan tilanne, jossa RDM-yhteensopiva valaisin on esimerkiksi asennettu maahan, jolloin sen väärää DMX-osoitetta ei pääse käsin muuttamaan. DMX-osoite voi olla myös jaettu useiden laitteiden kesken, jolloin on mahdotonta puhutella ryhmän yksittäistä jäsentä. UID mahdollistaa ongelman kiertämisen, kunhan DMX-universumin laitteet on ensin havaittu. [2, s. 15; 9, s. 59.]

Laitteiden yksilöllinen puhutteleminen edellyttää siis havaitsemista (discovery). DMX-universumissa olevat vastaanottajalaitteet voidaan havaita muun muassa käyttämällä binääristä hakumetodia, joka perustuu laitteiden UID:hen. Muitakin hakumenetelmiä on olemassa, mutta kuviossa 11 havainnollistettu malli on yleisin.



Kuvio 11. Binäärihaku. Yksinkertaistettua puumallia luetaan ylhäältä alaspäin, oikealta vasemmalle. [2, s. 30.]

Binäärihakupuun kukin piste vastaa kyllä/ei-päätöstä, joka havaitsee useiden tasojen jälkeen kunkin liitetyn laitteen UID:n. Pisteiden kaksi lukemaa tarkoittavat UID-arvojen väliä, josta kyseisellä kohdalla etsitään. Puun viimeisellä rivillä ovat laitteet, joilta saatiin vastauksena yksilöllinen UID. Haun valmistuttua laitteita voidaan puhutella suoraan tekemättä hakua joka kerta uudestaan. Uusia laitteita liitettäessä voidaan kuitenkin tehdä uusi haku, mikäli se nähdään tarpeelliseksi. Valmiiksi havaitut laitteet voidaan asettaa haussa jäämään huomiotta (muted), jolloin koko UID-alueen kattavaan hakuun vastaavat vain lisätyt laitteet. [2, s. 30 - 39.]

Laitteiden havaitsemisen jälkeen yksittäisille vastaanottajille voidaan lähettää tietoa ohjainlaitteelta ja niiltä voidaan saada vastauksia. Valaistuksen ohjauksessa tätä ”henkilökohtaista vuoropuhelua” voi hyödyntää esimerkiksi etäkäyttönä laitteen DMX-osoitteen uudelleenasettamisessa. DMX-osoitteen voi tavallaan mieltää laitteen primaariosoitteeksi, joka vastaanottaa laitteen suoritukseen kuten valaistustasoihin tai valaisimen liikkeisiin liittyvää tietoa. Seuraavaksi käsitellään muita RDM-viestejä, jotka hyödyntävät sekundaarisesti hahmotettavaa UID:tä. [9, s. 60 - 61.]

5.3.2 RDM-viestit

RDM käsittää lukuisia erilaisia viestejä, joita voidaan lähettää ja vastaanottaa laitteilla. DMX-osoitteiden etäasettaminen on toki kiistämätön fundamentaalinen ominaisuus, joka on ajanut kehitystä RDM-laajennuksen tielle, muttei ole ainut syy uudistukseen. Ohjainlaitteen lähettämät RDM-viestit, ns. RDM-parametriviestit, ovat jaettavissa havaitsemisen lisäksi kahteen ryhmään: pyyntöihin (GET) ja määrittäisiin (SET). Pyyntöt, kuten *”Mikä on lämpötilasi Valaisin?”* tai *”Savukone, paljonko sinussa on vielä nestettä jäljellä?”* ovat luonteeltaan viestejä, joihin tarvitaan aina pyydetyn arvon sisältävä vastaus. Määrittäykset eivät puolestaan vaadi samanlaista vastausta. Määrittäminen voisi olla esimerkiksi *”Aseta kuvaukseksi tämä teksti, Himmenninräkki”*. Jokaiseen RDM-viestiin kuitenkin vaaditaan kuittaus (acknowledge) vastaanottavalta laitteelta lukuun ottamatta viestejä, jotka on kohdistettu kaikille laitteille DMX-universumissa (ns. broadcast-viestit). Kuittaus-tyyppejä on neljä erilaista:

1. *RESPONSE_TYPE_ACK*, joka kertoo vastaanottajan saaneen viestin perille ja toimivan sen mukaisesti.
2. *RESPONSE_TYPE_ACK_OVERFLOW*, joka viestittää ohjainlaitteelle, että tieto on vastaanotettu onnistuneesti ja sen mukaan toimitaan, mutta vastausdata ei mahtunut yhteen vastausviestiin. Tällainen kuittaus voi tulla tilanteessa, jossa pyydetään paljon tietoa, esimerkiksi listaa vastaanottajan kaikista tukemista parametrivaihtoehtoista. Vastaanottaja lähettää peräkkäin niin monta dataviestiä kuin on tarpeellista kaiken pyydetyn datan lähettämiseen ja asettaa viimeisen viestin vastaustyyppiä *RESPONSE_TYPE_ACK*, joka kertoo viestin lopusta.
3. *RESPONSE_TYPE_ACK_TIMER* kertoo, että vastaanottaja ei kykene lähettämään pyydettyjä tietoja (get) tai kuittaamaan määritystä (set) siltä vaaditussa vastausajassa.
4. *RESPONSE_TYPE_NACK_REASON* osoittaa, että vastaanottaja ei kykene vastaamaan pyyntöön (get) tai suorittamaan sille määritettyä käskyä (set). Viesti sisältää myös syyn epäonnistumiseen niiden koodien muodossa, jotka on erikseen määritetty liitteen 1 osiossa A-17 ja liitteen 3 osiossa A-2.

[2, s. 25, 27, 29; 9, s. 61 - 62.]

Kuittaus on pyynnön ja määrittelyn tavoin RDM-viestin datalohkossa (Message Data Block, MDB), jota voisi verrata DMX-paketin databitteihin. MDB kantaa siis paketin "sisältöä". Taulukossa 5 on esitetty MDB:n rakenne, ja sen jäljessä sisältöä on tarkemmin ruodittu.

Taulukko 5. RDM-viestin datalohkon osat ja niiden pituus [2, s. 22].

Viestin luokka (<i>Command class, CC, 8 bittiä</i>)	Parametrin tunniste (<i>Parameter ID, PID, 16 bittiä</i>)	Parametritiedon pituus (<i>Parameter Data Length, PDL, 8 bittiä</i>)	Parametridata (<i>Parameter Data, PD, vaihtelevan pituinen</i>)
---	---	--	---

Viestin luokka kuvaa toiminnon olemusta. Viesti voi olla

- pyyntö (*GET_COMMAND*) tai (vastaanottajan) vastaus pyyntöön (*GET_COMMAND_RESPONSE*)
- määrittäminen (*SET_COMMAND*) tai vastaus määrittämiseen (*SET_COMMAND_RESPONSE*)
- havaitseminen (*DISCOVERY_COMMAND*) tai vastaus havaitsemiseen (*DISCOVERY_COMMAND_RESPONSE*).

PID on parametrikohmainen, ja se kertoo minkä parametrin viesti sisältää. Parametrit voivat olla joko niitä, jotka on määritetty standardeissa (ANSI E1.20–RDM, ANSI E1.37-1, ANSI E1.37-2) tai vastaavasti laitekohtaisia valmistajien omia parametreja. Tässä insinööriydessä käsitellään vain standardeissa käsiteltyjä parametreja. PDL kertoo seuraavan osan, parametridatan, kattamien tilojen (slots) määrän. PD:n pituus vaihtelee, koska se voi sisältää hyvinkin eri pituisia tietoja. PD-osion sisältö itsessään riippuu siitä, mitä PID:ssä sen on määritetty olevan. [2, s. 22 - 23.]

RDM-parametriviestien tehtävä on siis muun muassa säätää vastaanottavien laitteiden asetuksia tai kysyä tilatietoja. Viestikategorioita on 12 erilaista, mitkä ovat seuraavassa käyttötarkoituksineen. Liitteissä 1, 2 ja 3 ovat edellä mainittujen kolmen standardin sisältämät parametrit taulukoituna.

1. **Verkonhallintaviestit** (Network Management Messages) pitävät sisällään kuusi eri parametria, jotka ovat luonteeltaan yleislaatuista ja koko DMX-RDM-verkon kattavia. Ne liittyvät kommunikoinnin laadun analysointiin ja verkon hallintaan. Esimerkiksi parametria *COMMS_STATUS* (GET) käytetään keräämään dataa tiedonsiirron eheydestä. Vastaus antaa kumulatiivisen summan kohtaamistaan virheistä (esimerkiksi ajoituksen virheet).
2. **Tilojenkeruuviestit** (Status Collection Messages) ovat jonossa olevia vastauksia varten. Koska linjalla voi olla vain yksi tiedonlähettäjä kerrallaan, vastausviestejä jää vastaajan viestijonoon odottamaan vuoroaan. Viidestä tilojenkeruuparametrin esimerkiksi *QUEUED_MESSAGE* (GET) on tarpeellinen, kun vastaajan viestijonosta haetaan tiettyä viestiä. Mikäli vastaajalla on useita viestejä jonossa se vastaa prioriteetin järjestyksessä olevalla viestillä.

3. **RDM-tiedonantoviestejä** (RDM Information Messages) on kaksi erilaista. Ne kumpikin liittyvät verkkoon liitettyjen RDM-laitteiden ominaisuuksien kartoittamiseen. Esimerkiksi *SUPPORTED_PARAMETERS* (GET) parametrilla voidaan tiedustella laitteelta, mitä RDM-parametreja sen toiminta tukee. Vastauksena laite lähettää listan, joka sisältää tuetut PID:t. Toinen saman tyyppin parametri, *PARAMETER_DESCRIPTION* (GET) pyytää vastaajaa lähettämään valmistajakohtaisten parametrien kuvaukset.
4. **Laitteen informaatioviestejä** (Product Information Messages) käytetään ohjainlaitteen tavallisesti edellyttämien tietojen pyytämiseen ja asettamiseen. Yhden toista parametrin kategoria kattaa esimerkiksi laitteen hard- ja softwaretietojen hakemiseen sekä tehdasasetusten palauttamiseen soveltuvat parametrit. Laitteen kielen tiedustelu *LANGUAGE_CAPABILITIES* (GET) ja kielen asettaminen *LANGUAGE* (GET/SET) lukeutuvat puolestaan kategorian käyttäjälähtöisempiin ominaisuuksiin.
5. **DMX512-asetusviestit** (DMX512 Setup Messages) käsittävät kaksitoista parametria, jotka kytkeytyvät olennaisesti DMX512-protokollan luonteeseen. Esimerkiksi *DMX_START_ADDRESS* (GET/SET) tiedustelee tai asettaa laitteen DMX-aloitusosoitteen. Vastausviestissä on osoite väliltä 1 - 512. Standardissa ANSI E1.37-1 tuotiin lisäyksenä asetusviestejä, kuten *DMX_FAIL_MODE* (GET/SET), joka toimii tavallaan vikavirtasuojan elkein. Se määrittää laitteen toiminnan, mikäli DMX512-ohjaussignaali katkeaa.
6. **Sensoridataviestit** (Sensor Parameter Messages) ovat sensoreiden tuottamaa tietoa varten. Kolmen parametrin kategoriassa on esimerkiksi sensorin ominaisuuksia määrittävä *SENSOR_DEFINITION* (GET), johon saatava vastaus sisältää mm. sensorin tyyppin, mittausyksiköt sekä mittauksen maksimi- ja minimiarvot. *SENSOR_VALUE* (GET/SET) on puolestaan itse mittausdatan hakemiseen tarkoitettu parametri.
7. **Virranhallintaviestejä** (Power/Lamp Setting Parameter Messages) käytetään esimerkiksi valaisinten käyttötuntien tarkkailuun. Parametreja kategoriassa on kaikkiaan seitsemän, standardin ANSI E1.37-1 parametrit mukaan lukien. Esimerkiksi laitteiden ja lamppujen tilatietoja voidaan pyytää *DEVICE_HOURS*

(GET) tai *LAMP_HOURS* (GET) komennoilla. Vastaavat SET-komennot puolestaan asettavat aikakatkaisurajan, mikäli laite tai valaisin mahdollistaa asettamisen.

8. **Näytön asetusviestit** (Display Setting Parameter Messages) kattavat kaksi parametria, joista ensimmäinen *DISPLAY_INVERT* (GET/SET) soveltuu näytön kuvan kääntämiseen. Edistyneissä, älykkäissä valaisimissa parametri voidaan säätää automaattiasetukselle, jolloin näytön kuva kääntyy laitteen asennon mukaan (vrt. gyroskooppi). Toinen, *DISPLAY_LEVEL* (GET/SET) puolestaan pyytää tai asettaa näytön intensiteetin arvoa.
9. **Laitteen asetusviestit** (Device Configuration Parameter Messages) kattavat kaikkiaan kahdeksan parametria, jotka koskevat laitteen liikkeitä ja suojausta. Esimerkiksi *PAN_INVERT* (GET) ja *TILT_INVERT* (GET) pyytävät vastaanottajan kuten valaisimen, kierron ja kallistuksen arvoja tai vaihtoehtoisesti asettavat uudet arvot (SET). Uusi teknologia on otettu standardissa ANSI E1.37-1 huomioon uusien parametrein: esimerkiksi *LOCK_STATE* (GET/SET) mahdollistaa laitteen lukituksen tiedustelun ja suojaustason. Lukitsemista tukevat laitteet voivat reagoida halutusti *LOCK_PIN* (GET/SET) parametriin, jolla voidaan asettaa PIN-koodi. Koodia voi hyödyntää vaikkapa laajassa valaisinjärjestelmässä, jonka ope-roinnista vastaa useita eri toimijoita.
10. **Laitteen hallintaviestit** (Device Control Parameter Messages) käsittävät kaksitoista parametria. Parametrit ovat perustavanlaatuisia, pääasiassa laitteen implementointiin ja käyttäytymiseen vaikuttavia komentoja. Esimerkiksi juuri käyttöön-oton helpottamiseksi, eritoten suurissa valaisinjärjestelmissä oikeuksiinsa pää-sevä *IDENTIFY_DEVICE* (GET/SET) on laitteen konkreettista tunnistamista var-ten. Merkityllä UID:llä valjastettu laite reagoi viestiin esimerkiksi väläyttämällä va-loaan, jolloin järjestelmää on helpompi hahmottaa. Mikäli vastaanottajan kanssa esiintyy ongelmia, parametri *RESET_DEVICE* (SET) tulee ajankohtaiseksi jälji-tellen hienovaraista töpselin irrottamista.
11. **Himmenninviestit** (Dimmer Parameter Messages) ovat tulleet RDM:n lisäyk-senä standardissa ANSI E1.37-1. Parametreja on kaikkiaan yhdeksän kappaletta ja ne liittyvät himmentimien asetusten määrittämiseen ja tilatietojen pyytämiseen.

Esimerkiksi *DIMMER_INFO* (GET) pyytää vastaanottajaa eli himmennintä, lähettämään tietoja itsestään kuten himmennuksen minimi- ja maksimitasoista ja tuestusta resoluutiosta. Himmennuksen vasteajan säätämiseen tarkoitettu parametri *OUTPUT_RESPONSE_TIME* (GET/SET) on erityisen huomionarvoinen, koska sen tarkoitus ei rajoitu pelkästään himmennuksen nopeuteen vaan myös erilaisten himmentimien yhteistoimivuuteen ja himmennuksen pehmeuteen.

12. **Verkkoasetusviestit** (IP and DNS Configuration Messages) kattavat pelkästään standardissa ANSI E1.37-2 määritettyjä parametreja, jotka pääsevät oikeuksiinsa, mikäli RDM-viestejä lähetetään esimerkiksi IPv4-osoitteellisille laitteille. Parametreja on määritetty neljätoista, jotka ovat tarkoitettu verkkorajapintojen määrittelyyn, reititystietojen noutamiseen sekä IPv4-osoitteellisten laitteiden asetuksien muokkaamiseen ja tilatietojen hakuun. Yksinkertaisena esimerkkinä parametri *LIST_INTERFACES* (GET), joka saa vastauksena listan laitteen rajapinnoista sisältäen tunnisteiden sekä laitetiedot.

[2; 3; 4.]

RDM tuo alkuperäiseen DMX-standardiin paljon uusia ominaisuuksia korostaen lähettäjän ja vastaanottajan, ”masterin ja slaven” keskustelemaa luonnetta. Se tukee aiempia puutteita ja korjaa virheitä. Suurissa DMX-valaistusjärjestelmissä – jonka lukemattomat valaisimet ovat korkealla katonrajassa, upotettu lattiaan tai ovat muuten vaikeasti saatavuttavissa – RDM-yhteensopivuus lienee nykyään ehdoton valintakriteeri valaistusjärjestelmää suunniteltaessa. RDM on kuitenkin vielä verrattain uusi tekniikka, joten laitevalmistajat eivät ole mukautuneet siihen täysin. Käytön vähyydelle ei Souraman kokemuksen mukaan kuitenkaan ole mitään syytä. Lisäksi hän totesi, että RDM on selvästi tulevaisuutta ja siihen kannattaa sekä laitevalmistajien että valaistussuunnittelijoiden panostaa. [51.] RDM:n merkitys korostuu etenkin laajoissa tai monimutkaisissa järjestelmissä, jotka ovat jakautuneet useisiin DMX-linjoihin. Kooltaan vaatimattomammatkin järjestelmät voivat kattaa useita DMX-linjoja eli sisältävät useita ”DMX-universumeita”, mikäli järjestelmän toiminnot ja laitevalmistajat sitä edellyttävät. Seuraava luku käsittelee useampia universumeita kattavia järjestelmiä.

5.4 Useita DMX512-universumeita

Entä jos DMX-valaistusjärjestelmä vaatii enemmän kuin 512 kanavaa tyydyttääkseen liitettyjen laitteiden ohjaustarpeet? Lukuisia eri toimintoja tukeva älykäs valaisin voi tarvita yksinään parikymmentä DMX-kanavaa, mikä hankaloittaa suuren järjestelmän mahdolluttamista 512 kanavaan. Pätevät valopöydät tai muut ohjainlaitteet sisältävät ratkaisuksi enemmän kanavia. Tällainen ohjainlaite, joka sisältää esimerkiksi 1024 kanavaa, varustetaan kahdella DMX512-ulostuloportilla (DMX-väylällä). 2048 kanavaa vastaa vasti jakautuu neljään ulostuloon ja niin edelleen. Yksi portti käsittää yhden 512-kanavaisen DMX-universumin, kuten aiemmin on todettu.

Useita DMX-portteja käytettäessä on hyvä ottaa uudelleen huomioon vastaanottajien osoitteistaminen. Vastaanottajan näppäimistöllä on todennäköisesti mahdollista valita osoite vain väliltä 1 - 512, eli esimerkiksi osoitteen 2058 asettaminen olisi laitteen ulottumattomissa. Sen sijaan portti ja osoite tulee valita taulukosta kuvan 12 tavalla tai erikseen laskemalla. [9, s. 57.]

Device address	Port 1	Port 2	Port 3	Port 4	Port 5	Port 6
1	1	513	1025	1537	2049	2561
2	2	514	1026	1538	2050	2562
3	3	515	1027	1539	2051	2563
4	4	516	1028	1540	2052	2564
5	5	517	1029	1541	2053	2565
6	6	518	1030	1542	2054	2566
7	7	519	1031	1543	2055	2567
8	8	520	1032	1544	2056	2568
9	9	521	1033	1545	2057	2569
10	10	522	1034	1546	2058	2570
11	11	523	1035	1547	2059	2571
12	12	524	1036	1548	2060	2572
13	13	525	1037	1549	2061	2573
14	14	256	1038	1550	2062	2574
15	15	527	1039	1551	2063	2575
16	16	528	1040	1552	2064	2576
17	17	529	1041	1553	2065	2577
18	18	530	1042	1554	2066	2578
19	19	531	1043	1555	2067	2579
20	20	532	1044	1556	2068	2580

Kuva 12. Laitteiden DMX-osoitteet usean portin järjestelmässä. Esimerkiksi DMX-osoitteella 10 oleva valaisin kuuntelee portin 1 kanavaa 10. Vastaavasti osoitteella 10 oleva valaisin, joka on liitetty porttiin 5, kuuntelee kanavaa 2058. [9, s. 89.]

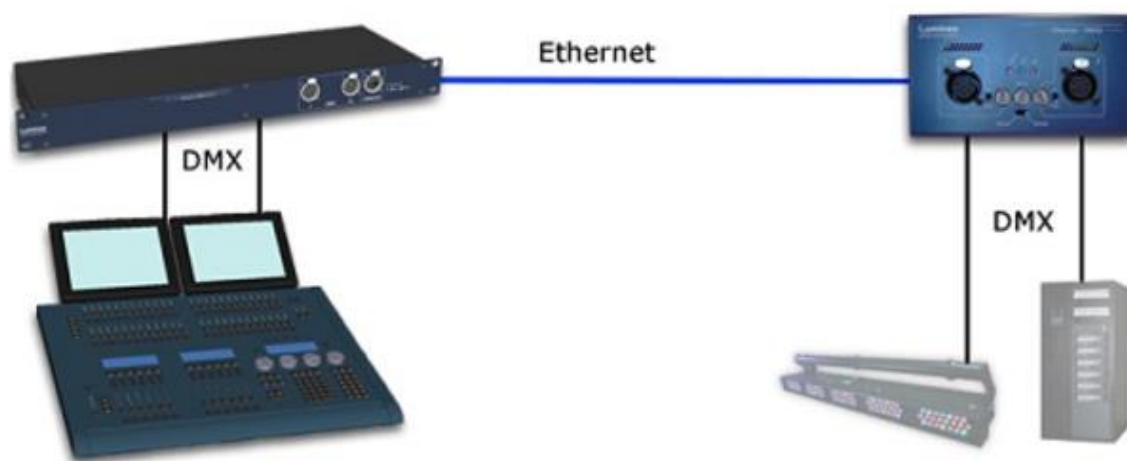
Mikäli laitteen osoitteeksi halutaan 2058, voidaan sitä vastaava portti sekä portin osoite määrittää seuraavalla laskulla:

$$2058 - 512 - 512 - 512 - 512 = 10$$

Laite tulee siis kytkeä porttiin 5 ja DMX-osoitteeksi tulee asettaa 10. Useiden universumien laajuinen DMX-järjestelmä ei siis sinänsä monimutkaista käyttöönottoa tai vaikuta tiedonsiirtoon, kunhan laite on kytketty oikeaan porttiin ja osoite on määritetty sen mukaisesti. Seuraava kappale käsittelee yhä useampia DMX-universumeita mahdollistavaa Ethernet-protokollaa. Verkkoteknologiaa hyödyntämällä DMX-järjestelmä voi teoriassa kattaa yli 30 000 universumia ja siten siirtää valtavia määriä dataa.

DMX Ethernetin välityksellä

Laajat DMX512-järjestelmät toteutetaan monesti nykyään Internetin kaltaisella verkko-tekniikalla. Dataa ei siis välitetä tiedonsiirto-ongossa pelkästään tavanomaisen DMX-kaapelin välityksellä vaan Ethernet-verkkotekniikkaa hyödyntäen, jonka malli on esitetty kuvassa 13. Mittavan datamäärän siirron takaa muun muassa Ethernet-tekniikan nopeus, joka on huomattavasti DMX-tekniikan teoreettista tiedonsiirtonopeuden huippua korkeampi. Välitykseen voidaan käyttää esimerkiksi valokuitua, joka takaa pitkät välimatkat. On kuitenkin hyvä pitää mielessä, että kummankin tiedonsiirron nopeus riippuu järjestelmän yhteensopivuudesta ja laadusta. [9, s. 49.]



Kuva 13. DMX512-ohjainlaite (tässä konsoli) voidaan liittää kytkimeen, josta viedään vähintään Cat5-tasoinen Ethernet-kaapeli adapterin kautta vastaanottajalaitteisiin. [37.]

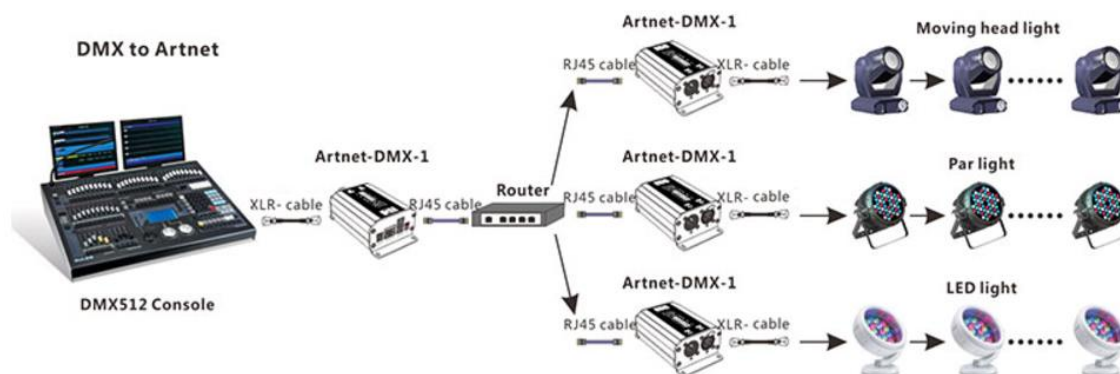
Tavallisesti Ethernetiä on käytetty muodostamaan tietokoneiden välille yhteysverkko. Tiedonsiirto tietokoneelta toiselle toteutetaan TCP/IP-protokollalla (Transmission Control Protocol / Internet Protocol), joka muodostaa raamit kommunikoinnille vastaten laitteiden osoitteista ja datapakettien siirtämisestä oikeille vastaanottajille tarkoituksenmukaisessa järjestyksessä (vrt. DMX-kommunikointi). Ethernet edellyttää verkkoon liitetyiltä laitteilta yksilöllistä osoitetta, IP:tä. Jotta tiedonvälitys kahden laitteen välillä onnistuisi, lähetys sisältää datan lisäksi lähettävän ja vastaanottavan laitteen IP-osoitteet. [13; 47.]

Ethernet-protokollan käyttö DMX512:n tiedonsiirrossa on perujaan valmistajien konsensusesta, joka käy ilmi useiden eri yritysten julkaisemista samaan tekniikkaan pohjautuvista sovelluksista. Jokainen valmistajakohtainen sovellus lähettää DMX512-dataa Ethernet-verkon välityksellä, joka dekodataan valmistajan tarjoamilla laitteilla takaisin DMX512-signaaliksi, eli päätelaitteille sopivaksi. Ethernetiä hyödyntävä ACN on standardoitu (ANSI E1.17 – 2015 Entertainment Technology – Architecture for Control Networks) ja muita ”DMX over Ethernet” -sovelluksia ovat julkaisseet lukuisat valmistajat, joista seuraavat esimerkkeinä:

- Pathway Connectivityn *Pathport* on suljettu järjestelmä, joka ei pääasiassa toimi muiden valmistajien tuotteiden kanssa yhteen. Pathport on sulkeutuneesta luonteestaan huolimatta monien DMX-laitevalmistajien tukema.
- Strand Lightingin julkaisema *Shownet* on edellisen tapaan rajattu valmistajan omaan käyttöön.
- Artistic Licence Engineering Ltd.:n *Art-Net* on julkisessa käytössä. Koska Art-Net on täten avoin eri laitevalmistajille, se on laajalti käyttöönotettu ja muodostaa monipuolisiin järjestelmiin yhteensopivuuden laitteiden välille. [5; 54.]

Seuraavaksi Art-Netin pääpiirteistä, koska avoimuutensa johdosta se olisi tämän opin näytetyön lukijallekin käytössä – Artistic Licencen vaatimin edellytyksin. Art-Net on siis Ethernet-protokolla, joka perustuu TCP/IP-tietoverkko-protokollan rakenteeseen. Art-Net kykenee siirtämään valtavasti dataa verkkotekniikan avulla antaen jokaiselle DMX-universumille porttiosoitteen. Valaisintiedot liikkuvat verkossa UDP-paketteina (User Datagram Protocol), jotka ovat nimettyjä Art-etuliitteellä.

Valaistusjärjestelmässä, jota kuva 14 havainnollistaa, Art-Net–DMX-laite muuntaa yhden universumin datan sopivaan muotoon ja lähettää sen verkkoon tietylle porttiosoitteelle, jonka samalle porttiosoitteelle määritetty Art-Net–DMX-laite kerää ja tuottaa DMX512-signaaliksi. Tämän jälkeen valot välkkyvät kuten halutaan. [6.]



Kuva 14. Järjestelmän ohjainlaite (tässä konsoli) lähettää signaalia muuntavan laitteen kautta UDP-paketteja verkkoon. Samalla porttiosoitteella määritetty vastaanottaja muuntaa signaalin DMX512-laitteille (valaisimille) sopivaksi. [58.]

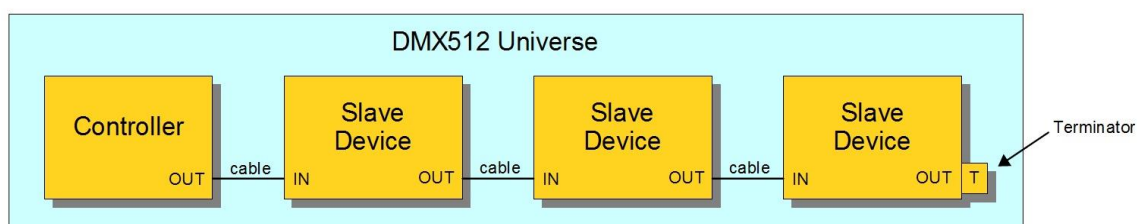
Ethernetin käyttö DMX512-tiedonsiirrossa kasvattaa käyttöön saatavien universumien määrää. Art-Netin uusimman, neljännen version teoreettinen universumiläraja on 32 768. Järjestelmä voi pitää sisällään siis valtavan määrän DMX-kanavia, vaikka käytännössä maksimi riippuu kuitenkin verkon ominaisuuksista, etäisyyksistä ja kaapeleista lähtien. Tiedonsiirtoprosessi on tehokas, koska Ethernetin avulla valaistustietoja kyetään välittämään moninkertaisesti sama määrä kuin DMX512:n tavallisella kaapelilla. Ethernetin käyttö valaistuksen ohjauksessa voi olla lisäksi asennustekninen oikoreitti, koska monissa kiinteistöissä on valmiiksi asennettu Ethernet-verkko Internet-yhteyksien vuoksi. Kaapelien riittävä laatu on silti muistettava tarkistaa, jotta vältytään häiriöiltä. [7; 8, s. 3 - 5.] Sourama suosittelee, että DMX-järjestelmää varten toteutettaisiin kokonaan oma Ethernet-verkko tai ainakaan olemassa olevaan verkkoon liittymistä ei hoideta puolihuolimattomasti, jotta eri järjestelmät eivät menisi sekaisin. Mikäli DMX-ohjainlaitteet hajautetaan esimerkiksi saneerauskohteessa ympäri rakennusta liittäen ne yleiskaapelointiverkkoon, on huolehdittava, etteivät ohjainlaitteet ole yhteydessä valaistusjärjestelmän lisäksi väärin kohteisiin (esim. Internetiin). Souraman mukaan tärkeää tällaisissa sovelluksissa olisikin ottaa suunnitteluun ja käyttöönottoon mukaan myös verkkoa ylläpitävä osapuoli. [51.] Art-Net esittelee myös mahdollisuuksia yhdistää DMX512-valaistus muihin protokolliin, kuten DALI:in ja DSI:hin, joiden avulla esimerkiksi olemassa olevaan

DALI-valaistusjärjestelmään voidaan yhdistää DMX512-valaistusta tai päinvastoin. Monimuotoisessa valaistuskohhteessa eri protokollien hyödyntäminen voi tulla hyvinkin tarpeelliseksi. [67, s. 3.]

Niin Ethernetiä hyödyntävä DMX512-kommunikointi kuin perinteinen kaapeliratkaisu RDM-laajennuksineenkin vaatii rungon toimiakseen. Seuraavassa lähdetään tarkastelemaan osia, joista DMX512-ohjattu valaistusjärjestelmä koostuu. Aluksi valokeilassa on järjestelmän karkea rakenne, jonka kautta edetään kaapelointiin ja itse päätelaitteisiin kuten valaisimiin.

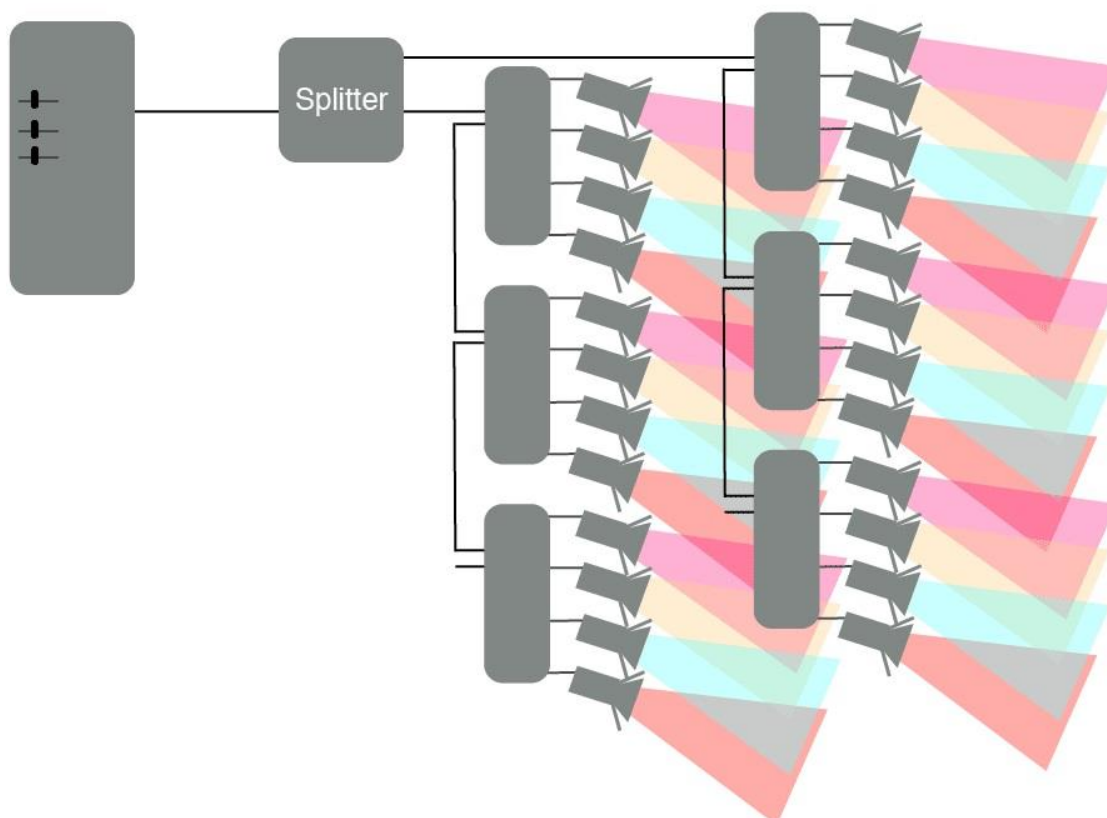
5.5 DMX512 -valaistusjärjestelmän kokoonpanot

Peruskomponenttina DMX-järjestelmässä on valaistuksen ohjain, esimerkiksi aiemmin luvussa 4 sivuttu e:cue Butler XT2 (kuva 7). Teatterimaailmassa puolestaan ohjainta vastaa valopöytä, joka lähettää dataa sähköverkkoon liitetyille valaisimille. Usein ulkovalaisimissa virta ja ohjaussignaali tulevat valaisimille samalla kaapelilla. Tällaiset standardien ulkopuolelle jäävät sovellukset ovat valmistajien omia järjestelmiä, jolloin ohjeistus niihin liittyen on tultava myös laitevalmistajalta. [51.] Ohjaimen ja valaisimien lisäksi kokoonpanoon kuuluu päätevastus eli terminaattori, joka liitetään DMX-linjan päähän. Päätevastuksia käsitellään kappaleessa 5.5.1, kaapeloinnin yhteydessä. Kuvio 12 esittää DMX-järjestelmän topologian, josta tulee selväksi myös perustavanlaatuinen luonteenominaisuus – sarjaankytkentämalli, "daisy-chain".



Kuvio 12. DMX512-järjestelmän ominaispiirre on sarjaankytkentämalli. Ohjainlaitteen ulostuloon liitetään kaapeli, joka vie dataa esimerkiksi valaisimelle (tässä slave device). Linjan pätyyn kytketään päätevastus. [59.]

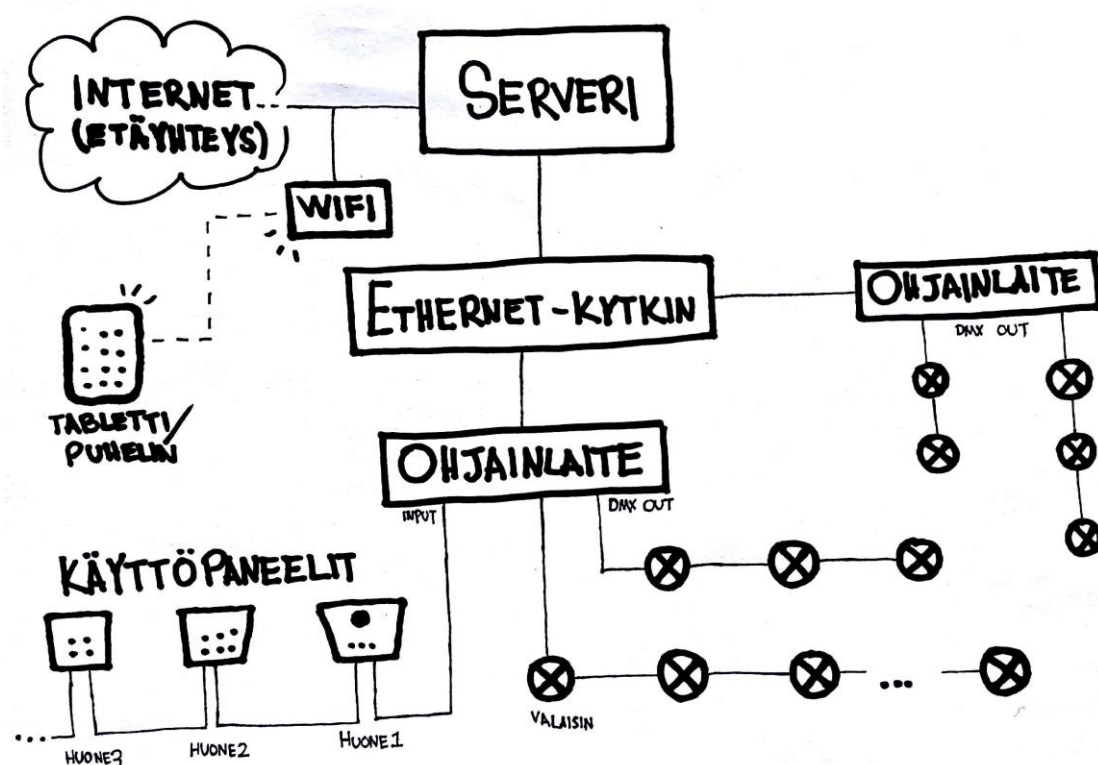
DMX-linjalle voidaan liittää näin sarjaan kytkemällä korkeintaan 32 laitetta, mikä johtuu lähinnä signaalin heikkenemisestä. Jotta linjaa voidaan haaroittaa ja useampia laitteita liittää järjestelmään, tarvitaan jakajia (splitters). Aktiivisplitterin jokainen ulostulo mahdollistaa 32 laitteen liittämisen. Tällaisten splittereiden tarkoitus on sekä signaalin heikkenemisen estäminen että signaalin jakaminen, joka mahdollistaa eri topologioiden luomisen. Kuvan 15 splitterin voidaan kuvitella olevan ns. "Y-splitteri", jossa on kaksi ulostuloa.



Kuva 15. Vasemman reunan ohjainlaitteen lähtöön on liitetty "Y-splitteri", joka jakaa signaalin kahteen eri DMX-linjaan. (Y-splitteri ei ole haaroitettu kaapeli vaan erillinen signaalia vahvistava laite, toistin.) Splitterin kumpaankin porttiin on yhdistetty kolme liitäntälaitetta, jotka voidaan nähdä kukin yhtenä laitteena (32 laitetta linjassa). Mikäli järjestelmässä siirretään RDM-signaaleja, myös niitä välittävien splittereiden on oltava RDM-yhteensopivia. [60.]

Tyypillisesti räkkilaitteina toimivissa tai DIN-kiskoon asennettavissa splittereissä on ulostuloja 4 - 6, jolloin DMX-signaali voidaan jakaa esimerkiksi yhtä moneen eri toimistohuoneeseen. Tosin suurempia, jopa 10 lähtöä mahdollistavia splittereitä on markkinoilla myös tarjolla.

Laajoissa valaistusjärjestelmissä, jotka sisältävät useita DMX-universumeita on tavallista välittää ohjaussignaalia Ethernet-rungossa, mikä mahdollistaa laajan järjestelmän vaatiman suuren datamäärän siirtämisen riittävän nopeasti. [9, s. 49.] Kokoonpanoista tulee tällöin edellä mainituista tavanomaisista DMX512-valaistusjärjestelmistä poikkeavia. Esimerkkikokoonpano kuvassa 16 sisältää serverin (esimerkiksi e:cue Lighting Control Engine 2), joka yhdistetään Ethernet-kytkimeen (Network switch), johon puolestaan liitetään ohjainlaite (esimerkiksi e:cue Butler XT2 tai vastaava).



Kuva 16. Serverin avulla kompleksistakin valaistusjärjestelmää voidaan ohjata tuoden samalla lisäominaisuuksia. Ethernet-kytkin puolestaan mahdollistaa yhä useampien DMX-universumien hyödyntämisen ohjainlaitteiden määrää lisäämällä. [51.]

Mikäli kuvan 16 järjestelmän sovelluskohde vaatii, ohjainlaitteeseen voidaan liittää käyttöpaneeleita, joista käyttäjät voivat ohjata valaistusta eri huoneista [51]. Itse ohjainlaitteen ulostuloihin voidaan ketjuttaa valaisimia tai muita laitteita. Laajassa valaistusjärjestelmässä ulostuloja saadaan enemmän yhdistämällä lisää ohjainlaitteita Ethernet-kytkimen ulostuloihin sekä ketjuttamalla kytkimiä toisiinsa. Esimerkiksi toimistovalaisuksen

tapauksessa ohjainlaitteita voidaan sijoittaa vastaamaan eri tilojen valaistuksen ohjauksesta. Ethernet-tekniikan avulla voidaan lisätä myös valaistuksen ohjausjärjestelmän käytännöllisyyttä esimerkiksi etäyhteyden avulla huoltotoimenpiteissä. Serverin rinnakkaisen verkkokortin avulla ohjausjärjestelmään voidaan luoda etäyhteys toiselta tietokoneelta häiriötilanteessa. Verkkotekniikkaa voi hyödyntää huoltotarkoituksen lisäksi esimerkiksi valaistuksen ohjaukseen tablettitietokoneella tai puhelimella WiFin välityksellä. [51.] Ohjausjärjestelmän muovailtavuus riippuu luonnollisesti laitevalmistajan asettamista vaihtoehtoista. Kuvan 16 esimerkkitapaus on kaavailtu Souraman haastattelun yhteydessä Traxon Technologiesin e:cue-laitteiston pohjalta.

Serverin ja Ethernet-kytkimien ryydittämän ohjausjärjestelmän etu on sen muokattavuus ja joustavuus: eri rajapintoja yhdistelemällä ja kytkimien avulla valaistusjärjestelmä voi hyödyntää useaa protokollaa, jolloin jokaisen yksilölliset vahvuudet saadaan esiin. Esimerkkinä juuri Traxon Technologiesin uusi ”SYMPL”-sovellus, joka käyttää pientä DIN-kiskoon asennettavaa ”Core S”-serveriä. Kytkimen avulla ohjaukseen voidaan liittää eri rajapintoja, kuten DMX/RDM, DALI ja 0-10 V. Rajapintojen ohjelmointi tehdään tässä tapauksessa valmistajan omalla ohjelmistolla. [61.]

Käytännön hyöty protokollien yhdistämisestä on selkeä: toimistotalon valaistuksen ohjaus voidaan jakaa eri osa-alueisiinsa. DALI:lla voidaan hoitaa yleisvalaistus, koska se on käyttötarkoitukseen luotu ja siten sopivin; DMX512 vastaa esimerkiksi julkisivun valaistuksesta, sekä kokoustilojen erityisvalaistuksesta ja 0-10 V:iin voidaan yhdistää vaikkapa painonappeja tai antureita, mikäli se nähdään tarpeelliseksi. Järjestelmän hajautettu arkkitehtuuri voi myös vähentää kaapeloinnin tarvetta, koska eri protokollien nodet voidaan asemoida fyysisesti lähelle kohdettaan.

5.5.1 Kaapelointi

Valaistusjärjestelmän saumattoman toiminnan ja luotettavuuden kannalta on olennaista käyttää laadukasta kaapelia. Pääsääntöisesti DMX-valaisimet käyttävät viisinapaista, puolitoistaneliöistä kaapelia, josta kaksi johdinta on varattu datalle ja yksi suojajohtimeksi. Mikäli liittimet ovat sopivat, DMX512 voi toimia, vaikka kaapelin laadusta on tinnitty. Todennäköisesti järjestelmä kuitenkin vikaantuu yllättäen. Käyttäjille ja asentajille suunnattu Adam Bennetten kirjoittama *Recommended Practice for DMX512* listaa seuraavat edellytykset DMX512-kaapelille ja huomauttaa, että usein käytetty mikrofoni- tai muu yleisluontoinen kaapeli ei ole sopiva DMX512:lle.

Samoja linjauksia sisältävät myös DMX512:n kaapelointia koskevat standardit ANSI E1.27-1 (2016) ja ANSI E1.27-2 (2014).

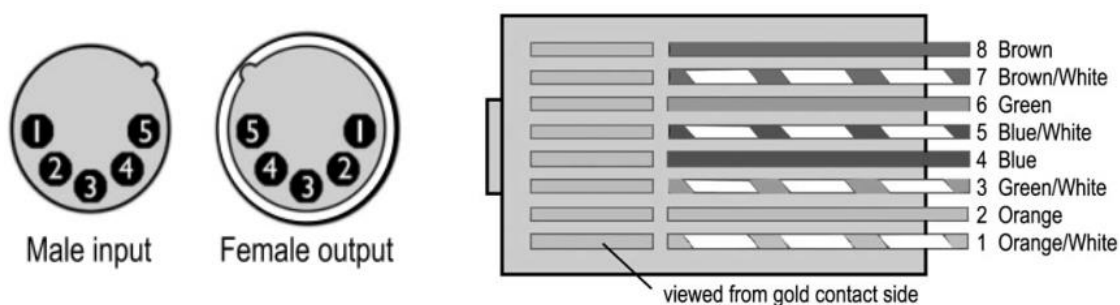
- Kaapelin sähköiset ominaisuudet EIA-485-standardin (RS-485) mukaan. DMX512-sovelluksissa maadoituksen kanssa on tosin oltava erityisen tarkkana, koska eri potentiaalissa olevien laitteiden välinen jännite-ero voi aiheuttaa signaalivirheitä ja jopa rikkoa vastaanottavia tai lähettäviä laitteita. [9, s. 106.] DMX512-standardin liitteessä A käsitellään kattavasti DMX-järjestelmien maadoitusta.
- Kaapelin maksimipituus on riippuvainen kaapelin johtimien paksuudesta. Ohuemmalla ja heikommin suojatulla kaapelilla vajaa 100-metriset vedot ovat soivia. Paksumpaa, suojatumpaa kaapelia käytettäessä yläraja on 300 m.
- Nimellisimpedanssi on 120 Ω , josta kuitenkin voi joustaa alaspäin 100 Ω saakka [62, s. 6].
- Kaapelin kapasitanssin tulee olla alhainen. Johtimien ja suojauksen välinen kapasitanssi saa olla korkeintaan 115 pF/m. Johtimien keskinäinen puolestaan 65 pF/m. [62, s. 6.]
- Kierretty parikaapeli häiriöiden minimoimiseksi. Yleisesti ottaen on ymmärrettävä, että pitkiä vetoja voimakkaapelienn rinnalla tulisi välttää elektromagneettisen häiriön (EMI) välttämiseksi.
- Kaapelin olisi hyvä olla folio- ja/tai punossuojattu (foil/braid shielded). [9, s. 102.]

DMX512:n kaapeloinnista kysyttäessä Sourama [51] totesi, että edes suojaamattoman UTP-kaapelin kanssa ei ole ollut mitään ongelmia asennuksissa. Vaativammassa, häiriöisissä tiloissa hän suosittelee kuitenkin vähintään foliosuojatun FTP-kaapelin käyttöä, koska hintaero UTP-kaapeliin nähden ei ole kummoinen. Sourama huomauttaa, että suojaamattomallakin kaapelilla on kyetty vetämään jopa 100-metrisiä matkoja kiinteistöissä muiden kaapelien joukossa. Mitä vetojen pituuksiin muuten tulee, sataa metriä pidetään yleisesti turvallisena, vaikka jopa 300-metrisiäkin välimatkoja on taitettu tavallisella Cat5-kaapelilla. Cat-kaapelin käyttö DMX-sovelluksissa on mahdollista, koska omi-

naisuuksiltaan se on aitoa DMX-kaapelia kohtalaisen lähellä. Kaapeli on myös standardinomainen, mikä tekee siitä edullisen verrattuna aitoon DMX-kaapeliin, jota saa lähinnä alan erikoisliikkeistä.

DMX-linjan pituusrajoite ja järjestelmän fyysinen laajuus muuttuvat kuitenkin radikaalisti, mikäli siirrytään tavallisesta kuparikaapelista Ethernet-tiedonsiirtoon ja esimerkiksi valokuituun. DMX-tiedonsiirto onnistuu siis valokuitua pitkin siinä missä kupariakin, joten esimerkiksi valvomon ja ohjauspisteen välinen pitkä etäisyys on helppoa taittaa. Sourama toteaaakin, että valokuidulla voi tehdä jopa parin kilometrin pituisia vetoja ilman ongelmia. [51.]

DMX512-kaapeleissa käytetään kuvan 17 vasenta, 5-pinnistä XLR-liitintä. XLR-urosliitin tulee lähtöporttiin, naarasliitin puolestaan vastaanottavaan porttiin. DMX512-standardi hyväksyy myös oikeanpuolimmaisen RJ45-liittimen käyttämisen kiinteissä asennuksissa.



Kuva 17. 5-pinninen XLR-liitin ja RJ45-liitin [9, s. 18, 104].

DMX-linjat koostuvat kaapeleilla sarjaan kytketyistä pisteistä, mikä lienee suurin rajanveto järjestelmän kokoamiselle. Ohjainlaitteen lähtöportista kaapeli liitetään seuraavan laitteen tuloporttiin, jonka lähtöportista kaapeli viedään seuraavan laitteen tuloporttiin ja niin edelleen. Kuten edellisessä luvussa mainittiin, yhdelle linjalle voidaan liittää pääsääntöisesti 32 laitetta hajautettuna mihin tahansa kohtaan sen koko pituutta. Linjan loppuun liitetään päätevastus eli terminaattori. Päätevastus on yksinkertaisuudessaan 120 Ω vastus, mikäli käytetään aitoa DMX-kaapelia. Cat-kaapelin yhteydessä puolestaan 110 Ω vastus riittää. Kaapelin nimellisimpedanssi siis määrittelee käytettävän päätevastuksen. [9, s. 104.] Joissakin laitteissa voi olla sisäänrakennettu päätevastus, joka tulee muistaa kytkeä päälle, mikäli laite tulee linjan viimeiseksi. Useimmiten päätevastus on

uros-XLR-liittimellä varustettu pistotulppa, jonka pinnien 2 ja 3 väliin on juotettu vastus. Tulppa laitetaan linjan viimeisen laitteen ulostuloon.

Vääränlainen tai puuttuva päätevastus on Bennetten mukaan yleisin syy DMX-järjestelmän vialliseen toimintaan. Päätevastuksen tarkoitus on "katkaista" signaali linjan loppupäässä, jotta se ei heijastu takaisin lähettävään laitteeseen päin aiheuttaen häiriötä. [9, s. 21.] Sourama kuitenkin huomauttaa, että hyvin lyhyet, alle 20-metriset DMX-linjat toimivat lähes poikkeuksetta ilman päätevastustakin. Päätevastuksen sivuuttamiselle ei tosin ole perusteltua syytä, koska ne ovat erillisinäkin ostettuna hyvin edullisia. [51.] Valaistuksen saumattoman ja häiriöttömän toiminnan puolesta investoidut päätevastukset eivät siis muodosta suurta osaa valaistusjärjestelmän kokonaiskustannuksista.

5.5.2 Valaisimia

Pääasiassa DMX512:a käytetään automaattisten valaisimien, himmentimien ja muiden erityisesti näyttämötekniikassa käytettävien laitteiden ohjaukseen (esimerkiksi savukoneet), joiden toiminnalta odotetaan synkronisuutta ja mahdollisimman pientä viivettä. Valaisimiin liittyy usein erilaisia toimintoja kuten kallistus, kääntäminen, stroboskooppi tai valon intensiteetin muuttaminen sekä valon muotoa muuttavat sulkijat, suotimet ja filtit. Eriväriset valot (RGB), niiden sekoittaminen ja ohjaus kuuluvat luonteenomaisesti DMX512:n repertuaariin. [48, s. 14 - 18.]

Tavanomaisia yleisvalaistukseen soveltuvia valaisimia, jotka ovat juuri DMX512-protokollaa varten valmistettuja, ei tunnu juuri olevan. Tämä on kuitenkin nähtävä toisarvoisena, kuten Sourama toteaa, koska suurilla valaisinvalmistajilla alkaa nykyisin olla tuotevalikoimassa valaisimia, jotka voidaan liittää lähes mihin ohjausprotokollaan tahansa. [51.] Näin ollen painoarvo tulee asettaa enemmän rajapintojen suuntaan, koska valaistuksen ohjausjärjestelmät voivat koostua hajautetusti eri protokollista mahdollistaen silti monitoroinnin, ohjelmoinnin ja etähuollon yhdestä paikasta (valmistajakohtaisesti). Liitäntälaitteita, reitittäjiä ja sovittimia (gateways), jotka toimivat rajapintoina protokollan ja valaisimen välillä, on tarjolla protokollasta toiseen hyvin kattavasti. Esimerkiksi Helvarin DIGIDIM- ja Imagine- sekä Traxon Technologiesin e:cue-tuoteperheistä löytyy vaihtoehtoja protokollien välisten rajapintojen luomiseen tai muuten eri protokollien hyödyntämiseen yhdessä valaistusjärjestelmässä.

5.6 Häiriötilanteet

Ennen työläiden jännite-, resistanssi- ja oskilloskooppitestien suorittamista tai virallisten DMX512-testivälineiden hankkimista häiriötilanteisiin voidaan paneutua yksinkertaisempien tarkastusten tavalla.

Valtaosa DMX512:n vioista johtuu perustavanlaatuisista seikoista kuten päätevastuksen puutteesta tai sopimattomuudesta, johtimien virheellisestä kytkennästä tai rikkinäisistä ja huonosti kiinnitetyistä kaapeleista. Ennen ohjausjärjestelmän perinpohjaiseen anatomiaan ja DMX-signaalin parsimiseen paneutumista seuraavat asiat on hyvä tarkistaa:

- Montako laitetta linjalle on liitetty? EIA-485-standardin mukaan korkeintaan 32 laitetta voidaan liittää linjalle. Vastaanottavien laitteiden tulee olla myös EIA-485 yhteensopivia, jotta häiriöitä ei esiintyisi.
- Onko DMX-linjalla noin 120 Ω päätevastus? Mikäli ohjainlaite on linjan ”välillä” tulee linjan kummassakin päässä olla vastus. Tilanne voi esiintyä lähinnä RDM-liikennettä tukevissa DMX-verkoissa laitteiden roolin (lähettäjä/vastaanottaja) vaihtumisen yhteydessä. [9, s. 23 - 24.]
- Onko kaapelin johtimet kytketty oikein? Vaikka kytkentä olisi tehty väärin, DMX voi toimia pätkittäin. Vika ilmenee usein valaisinten välkkymisenä tai muuten järjestelmän katkonaisena toimintana.
- Onko DMX-järjestelmän maadoitus tehty oikein? EIA-485-standardi määrittelee, että linjan maa tulisi olla kytketty sähköverkon maahan *sekä lähettäjien että vastaanottajien osalta*. Mikäli laitteita maadoitetaan, tulee DMX512-verkkoa eristää. Vastaanottavia laitteita voidaan eristää irrottamalla maajohdin DMX-linjan maasta käyttämällä optoerotinta. [9, s. 35.]

DMX512-protokollaa ei ole varustettu tiedonsiirtonsa virheenkorojauksella. Esimerkiksi satunnainen häiriölle altistunut DMX-datapaketti voi aiheuttaa lyhyen katkon järjestelmän toiminnassa. Pääosin virheenkorojauksen puute ei muodostu ongelmaksi DMX:n jatkuvasti lähettävän (streaming) luonteen ja siten korkean päivitystaajuuden johdosta. Simpson kehottaa kuitenkin välttämään mahdollisen hengenvaaran aiheuttavien sovellusten kuten pyrotekniikan tai vastaavan ohjaamista DMX:n avulla. [49, s. 291.]

Seuraava luku käsittelee valaistustekniikan jakoa analogista ja digitaalista elektroniikkaa hyödyntävään tekniikkaan sekä tarjoaa pohjan vertailulle valaistuksen ohjausjärjestelmien ominaisuuksien kesken. Vertailu tapahtuu standardisoidun, yleisesti käytössä olevan DALI:n ja DMX512:n kesken.

6 Digitaalinen ja analoginen tekniikka valaistuksen ohjauksessa

Elektroniikan kehittyminen lähti aikoinaan liikkeelle analogisesta elektroniikasta – nykyisin siirrytään enemmän ja enemmän digitaalitekniikkaa kohti. Silti edelleen monet laitteet käyttävät kumpaakin tekniikkaa. Esimerkiksi äänentoistolaitteet, videokamerat ja puhelimet hyödyntävät sekä analogista elektroniikkaa että digitaalitekniikkaa.

Analogisen ja digitaalisen eroavaisuus keskittyy käsiteltävään signaaliin. Analogiset signaalit ovat jatkuvia, ja niillä on äärettömän paljon arvoja negatiivisen ja positiivisen maksimin välillä. Sekä analogisen signaalin taajuus että amplitudi sisältävät luettavia arvoja. Digitaalisignaaleilla ei puolestaan ole samanlaista aikariippuvuutta kuin analogisignaaleilla: ne käsitellään ajan suhteen epäjatkuvin. Signaalin epäjatkuva luonne merkitsee amplitudin poukkoilemista ääriarvosta toiseen. Digitaalisignaalin, esimerkiksi binaarisignaalin (ääriarvot 0 tai 1) amplitudi ja taajuus eivät sisällä luettavia arvoja, mutta tiedonsiirron nopeus kasvaa verrannollisesti taajuuteen nähden. [63, s. 12 - 13.]

Kappaleet 6.1 ja 6.2 käsittelevät valaistuksen ohjausjärjestelmiä, jotka voidaan mieltää analogisiksi tai digitaalisiksi niiden ohjausperiaatteen mukaan.

6.1 Analogiset ohjausjärjestelmät

Analoginen ohjaus on yksinkertaisin metodi esimerkiksi himmentimille tai muille ohjaimille, jotka perustuvat jännitteen tai muun mitattavan parametrin vaihteluun. Analogisen ohjauksen kulmakiveksi voisi kutsua 0-10 V ohjausta, jonka standardoinnin (ANSI E1.3 – 2001 (R2016)) tarkoituksena on ollut luoda yhtenäinen tapa analogisella signaalilla ohjatuille himmentimille. Ohjausjännitteeksi on valittu juuri 10 V, koska se on turvallisen alhainen ja silti tarpeeksi korkea välttääkseen signaalihäiriöitä. Lisäksi ohjausjännitteen määrä on helppoa osoittaa prosenttilukuna (esimerkiksi 5 V = 50 %, 10 V = 100 %), koska sen on tarkoitus olla lineaarinen. [49, s. 280.] Kymmenen voltia on myös sovellova jännite elektronisille komponenteille, joita ohjauksen yhteydessä käytetään.

Himmennettävät loisteputket ja pääosa ohjattavista valaisinten liitäntälaitteista on toteutettu siten, että ohjausjännitteen alue on 1-10V. Yksinkertaisimmillaan ohjaimeksi itsessään riittää pelkkä potentiometri. On tosin huomattava, että valaisinryhmässä voi olla vain yksi 0-10 V ohjauspiste. Mikäli valaisinten ohjaus toteutetaan 0-10 V ohjauksella, erot kaapeloinnin pituudessa eri valaisimien välillä näkyvät eroina valon intensiteetissä.

[55, s. 473, 484.] 0-10 V protokolla on yhdistettävissä muuhun valaistuksen ohjausjärjestelmään: esimerkiksi Traxon Technologiesin e:cue SYMPL-ohjainlaitteisiin voidaan liittää ”input node”, joka mahdollistaa vaikkapa seinään kiinnitettävän potentiometrin liittämisen.

Nykyisenkaltaiset ohjausprotokollat saivat alkunsa multiplekserin periaatteen yhdistämisestä valaistuksen ohjaukseen. Sekä analoginen AMX192 että digitaalinen DMX512 ideoitiiin samaan aikaan vuonna 1986. [64.] Kummankin taustalla oli tarve välttää jokaiselle himmentimelle erikseen vietävät ohjauskaapelit, mikä on asennuksessa työlästä ja kallista. Multiplekserin idealla ohjaussignaalit voitiin lähettää sarjaliikenteen tavoin yhtä kaapelia myöten koko valaistusjärjestelmälle. AMX192:n pääpiirteisiin kuuluu johdinparit, joista yksi kuljettaa aikaisignaalia synkronisoinnin takia ja toinen 0-5 V analogista signaalia 50 µs sarjoina. Kellon synkronisoimat sarjat vastaavat yksi kunkin himmentimen tasoa (vrt. DMX-paketin yksi kehys, tila). AMX192-linja kuljettaa datasignaaleja himmentimille 192 kanavalla. [65.]

AMX192-protokollaan pohjautuvia laitteita tehtiin hyvin vähän johtuen osin digitaalisen DMX512:n laajemmasta käyttöön otosta ja toisaalta AMX192:n samankaltaisuudesta eurooppalaiseen aikalaiseen – Strand D54:ään – joka oli huomattavasti suositumpi. Nykyisin AMX192 on tuskin enää käytössä. [49, s. 283.]

6.2 Digitaaliset ohjausjärjestelmät

Analogisesta kollegastaan poiketen digitaalinen valaistuksen ohjausjärjestelmä ”säilyttää” valaistustasojen dataa, jota lähetetään vain halutuille vastaanottajille. Vastaanottavien laitteiden tulee tämän vuoksi olla yhdistetty tavalla tai toisella lähettävään ohjainlaitteeseen. Metodi, jolla yhdistäminen tapahtuu, koostuu sähköisistä ominaisuuksista (jännitteet, impedanssi, siirtonopeus) ja protokollasta, jonka digitaalisessa valaistuksen ohjauksessa käynnisti itävaltalainen Tridonic lanseeratessaan DSI-järjestelmänsä. [46, s. 459.] Protokolla määrittelee tässä tapauksessa tavan, jolla valaistustasojen data välitetään vastaanottajille.

DSI-järjestelmän valaisimissa tulee olla elektroniset liitäntälaitteet, joiden digitaalinen ohjaus mahdollistaa eri tehoisten lamppujen säädön samassa ohjauksessa. DMX512:sta poiketen DSI-digitaaliohjauksessa valonsäätödata välitetään liitäntälaitteille osoitte-

tonta digitaalisignaalia käyttäen. Osoitteettomuus voidaan nähdä etuna, koska DSI-järjestelmän käyttöönottoa pidetään yksinkertaisena. Kääntöpuoli osoitteettomassa ohjauksessa on kaapeloinnin määrä – järjestelmä ei toimi verkkona, vaan kullekin laitteelle tai valaisinryhmälle tarvitaan välttämättä oma ohjauskaapeli. [55, s. 478.] Suurissa koh-teissa DSI jäänee siis omana ohjausjärjestelmänään vaihtoehtojen ulkopuolelle, koska tällainen kaapelointi on nykyisin mahdollista välttää. [46, s. 459.]

Valaistuksen ohjauksen yksinkertaisin ratkaisu lienee switchDIM, joka löytyy niin ikään Tridonicilta. Tekniikka pohjautuuakin pitkälti DSI:hin. Erillisen alakeskuksen sijaan switch-DIM järjestelmän signaalia välittää verkkovirran taajuus. Valaisimen painonappia pide-tään painettuna, jolloin järjestelmään kytketyn verkkojännitteen ohjaamana valaisin kir-kastuu tai himmenee. Painikkeen painaminen säätää kirkkautta ylös- tai alaspäin vuoro-tellen. [66.] switchDIM ei vaadi erillistä ohjauslaitetta vaan pelkästään valaisimen liitän-tälaitteen. Ohjaussignaali tulee katkaisijasta, painikkeen painamisen keston mukaan. [55, s. 480.]

DSI-ohjausta voidaan pitää DALI:n edeltäjänä, koska Tridonic oli ensimmäinen valmis-taja, joka yhdisti elektroniset liitäntälaitteet digitaaliseen ohjaukseen. Sama perusajatus on myöhemmin syntyneen DALI:n takana. Valaistuksen ohjausjärjestelmänä DALI on nykyisin erittäin laajalti käyttöönotettu. Suosio juontaa juurensa sen rooliin suurten liitän-tälaittevalmistajien yhteisenä konseptina, mikä on taannut levikin. 90-luvun loppupuolella esitelty DALI on akronyymi sanoista Digital Addressable Lighting Interface.

Seuraava luku käsittelee DALI:n ominaisuuksia. Samalla vastaehdokas tulee esiteltyä myöhempää vertailua varten.

6.2.1 DALI

DALI on teknisesti määritelty ja kansainvälisesti standardoitu (IEC 60929 ja IEC 62386) avoin tiedonsiirtoprotokolla, joka on tarkoitettu valaisimien elektronisten liitäntälaitteiden keskitettyyn ohjaukseen. Standardin taustalla ovat Euroopan suurimmat elektronisten lii-täntälaitteiden valmistajat Helvar, Tridonic, Osram ja Philips. Työryhmä kehitti DALI:a ennen kaikkea kaupalliseen- ja arkkitehtoniseen valaistuksen ohjaukseen, analogisen 0-10 V ohjauksen digitaalseksi ja osoitteelliseksi vastineeksi. [55, s. 474; 68, 69.] Standar-disoinnin ja takana olevien järjestöjen linjauksen vuoksi DALI ei edellytä liitäntälaitte- ja

valaisinvalmistajilta laitteiden sertifiointia vaan pelkkä valmistajan vakuutus riittää. Edeltävä ylläpitäjä oli DALI AG, joka toimi niin ikään saksalaisen elektroniikkateollisuuden liiton ZVEI:n alaisuudessa. DALI AG hajosi maaliskuussa 2017. Standardin nykyinen ylläpitäjä on järjestö nimeltä DIIA (Digital Illumination Interface Alliance).

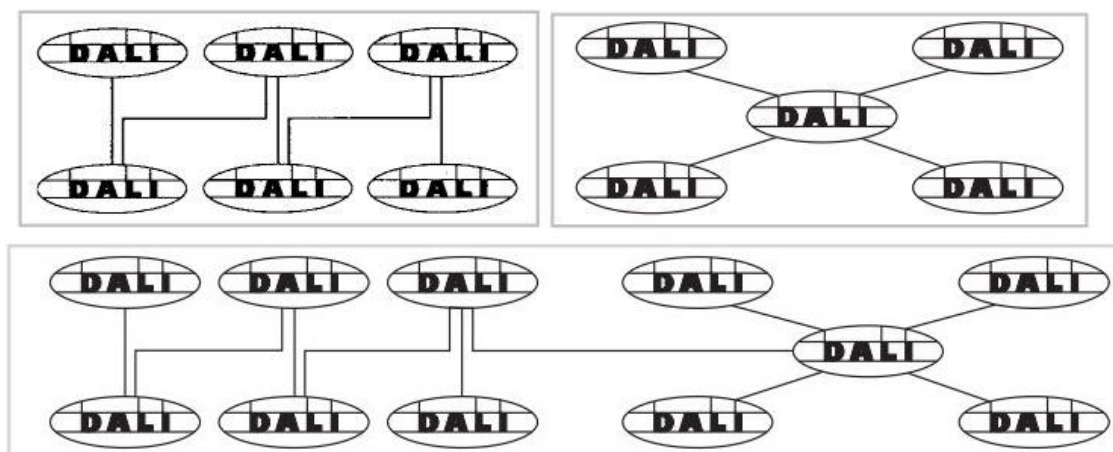
DALI:n keskeiset ominaisuudet ovat esitelty taulukossa 6, jonka johdolla liitäntälaitestandardia käsitellään. Jäljempi luku hahmottelee uutta DALI 2:a.

Taulukko 6. DALI:n pääpiirteet. [49, s. 294, muokattu.]

Ohjattavien laitteiden enimmäismäärä:	64
Laitteista muodostettavien ryhmien enimmäismäärä:	16
Tiedonsiirtonopeus:	1200 bits/s
Datan muoto:	Differentiaalinen Manchester-koodattu (jännitemuutos alhaalta ylös = 1, ylhäältä alas = 0)
LOW-signaalin (0) jännite:	Nimellisjännite 0 V (-4,5 V – +4,5 V lähettäessä, -6,5 V – +6,5 V vastaanottaessa)
HIGH-signaalin (1) jännite:	Nimellisjännite 16 V (+11,5 V – +20,5 V lähettäessä, -9,5 V – +22,5 V vastaanottaessa)
Väylän korkein sallittu jännitehäviö:	2 V
Ohjauskaapelin maksimipituus:	300 m
Ohjausvirran maksimi:	250 mA
Linjaan yhdistetyn laitteen käyttämä nimellisvirta:	2 mA
Laitekohtainen tasojen määrä (resoluutio):	255 + OFF eli 8 bittia. (256 arvoa)
Lähetettyjen bittien välinen aika:	833,3 µs
Kehyksen aika:	15,83 ms lähetettäessä, 9,17 ms ladattaessa kuormitettavalta rajapinnalta (esim. tilatietoja kysyttäessä, vrt. RDM GET-viestit)
Kehysten välinen aika:	Vähintään 9,17 ms lähetettävän kehyksen edellä, vähintään 2,92 ms ladattavan kehyksen edellä

DALI-valaistusjärjestelmän ohjausdataa sisältävä signaali on kaksisuuntainen (half duplex) ja osoitteellinen (vrt. DMX-RDM), mikä mahdollistaa esimerkiksi yksittäisten liitäntälaitteiden ”puhumisen” käyttäjälle esimerkiksi tila- ja häiriötietoja välittäen. Kommunikointi toimii DALI-ohjainlaitteiden, ohjelmistolla varustetun tietokoneen tai rakennusautomaatiojärjestelmän välityksellä. Valaisindata siirtyy sarjaliikenteen muodossa Manchester koodattuna. Signaali vastustaa hyvin sähköistä häiriötä, koska tasojen (LOW ja HIGH) välinen erotus on selkeä sekä toleranssi on suuri. [49, s. 294.]

DALI-väylässä on kaksi johdinta, jotka välittävät 16 V digitaalista ohjaussignaalia. Signaalijohtimien keskinäistä napaisuutta ei tarvitse huomioida, mikä helpottaa asentamista. Lisäksi valaisimeen liitetään vaihe-, nolla- ja suojajohtimet. [55, s. 474.] Verrattain hitaan tiedonsiirtokykynsä puolesta DALI:n muoto (asennustopologia) on vapaa lukuun ottamatta suljettuja renkaita (kuva 18). Korkealla tiedonsiirtonopeudella dataa välittävät verkot ovat puolestaan tarkkoja laitteiden keskinäisen yhdistämisen suhteen.



Kuva 18. DALI:n asennustopologia on vapaa eli väylän laitteet voivat olla esimerkiksi vasemman yläkulman tapaan sarjaan kytkettynä, oikean reunan mukaan tähtikytkettyjä tai niiden yhdistelmänä (alhaalla). Vapaan muodon vuoksi DALI-valaistusjärjestelmän suunnitteluvaiheessa ei olisi siis teoriassa välttämätöntä määrittää katkaisijoiden, ohjauspaneelien ja sensorien sijainteja. [69, s. 26 - 27.]

DALI-väylä ei tarvitse lainkaan päätevastusta vaan käsittää erillisen virtalähteen (250 mA ohjausvirta) ja enintään 64 osoitetta, joiden mukaan laitteet liitetään väylälle. Virtalähde voidaan sijoittaa väylän keskelle jännitehäviöiden minimoimiseksi. DALI-väylään liitetyt valaisimet ovat yhdistetty liitäntälaitteen välityksellä, joka toimii rajapintana. Laitteet voidaan jakaa korkeintaan 16 eri ryhmään suuren valaistusjärjestelmän hahmottamisen ja järjestelyn helpottamiseksi. Ryhmittely tehdään ohjelmallisesti, joten valojen syttymisryhmien myöhempi muokkaaminen on mahdollista. [69, s. 16 - 20, 24 - 25.] Järjestelmään kuuluvat elektroniset liitäntälaitteet (valaisimet niiden takana), ohjauspaneelit ja sensorit ovat DALI-väylällä omina osoitteinaan.

DALI on monikanavaisena ohjausjärjestelmänä toteutettavissa vain yhdellä ohjausvirtapiirillä, joka ei välttämättä tarvitse erillistä keskusyksikköä. Näin ohjaus on hajautettavissa eri osiin, mikä tekee valaistusjärjestelmästä stabiilimman ja luotettavamman samalla kaapeloinnissa säästäen. DALI-väylän syöttö- ja ohjausjohtimet voidaan asentaa saman johtovaipan sisään signaalin häiriönkeston vuoksi. Johtimien eri pituuksia vastaavat johtimien halkaisijat ovat taulukossa 7. Pituutta voidaan pitää DALI-linjan maksimipituutena.

Taulukko 7. DALI-linjan signaalijohtimien määrittäminen. Standardin mukaan suurin sallittu pituus johtimille on 300 m. Ohjaussignaali välittyy järjestelmän kaikille valaisimille samanaikaisesti riippumatta virtapiirin pituudesta. [69, s. 19.]

Kaapelin pituus	Johtimen vähimmäishalkaisija
< 100 m	0,5 mm ²
100 - 150 m	0,75 mm ²
150 - 300 m	1,5 mm ²

Standardissaan DALI-järjestelmä kuvaillaan soveltuvaksi yhden tilan valaistukseen, jolloin sen todellinen potentiaali jää varjoon. Käytännön kiinteistökohteissa DALI-väylä voidaan jakaa ryhminä eri tiloihin, jotka yhdistetään rajapintoja hyödyntäen esimerkiksi kiinteistöautomaatioon. Laajat DALI-järjestelmät, jotka käsittävät useita DALI-väyliä voidaan koota yhden ohjauksen piiriin sopivalla Ethernet-reitittimellä. Järjestelmää laajennettaessa on kuitenkin huomioitava virtalähteen riittävyys. [69, s. 20.] DALI-yhteensopivia valaisimia ja laitteita on markkinoilla paljon kuten ledi-, loisteputki-, kaasupurkaus-, halogeeni- ja hehkulamput sekä turvalaisimet. Lisäksi on erilaisia sensoreita kuten valoisuusantureita ja liiketutkia. DALI:in on myös yhdistettävissä suoraan seinäkatkaisijoita ja painonappeja sekä sovittimia toisiin protokolleihin. Suuri valikoima eri valmistajien DALI-yhteensopivia laitteita pönkittää liitännästandardin asemaa maailmanlaajuisesti. [71.]

Pääasiassa DALI-järjestelmää ei voi ottaa käyttöön ilman ohjelmointia, mikäli sillä on tarkoitus toteuttaa monimutkainen valaistus – yksinkertaisella painonapilla toteutettu valaistus toimii suoraan paketista asennettuna. [72.] Ohjelmointi tehdään valaistusjärjestelmää käyttöönotettaessa laitevalmistajasta ja järjestelmän luonteesta riippuen ohjauspainikkeilla, kaukosäätimellä tai tietokoneella.

Ohjattavia laitteita lisätessä voi joutua tekemään ohjelmoinnin uudestaan. Ohjelmoinnin tarkoituksena on määrittää DALI-laitteille oikeat osoitteet, joka toimii etäisesti samankaltaisesti havaitsemalla kuin DMX-RDM-järjestelmissä (kappale 5.3.1). DALI-laitteissa on ominaisuus, jonka avulla kukin laite tuottaa itselleen yksilöllisen osoitteen, jotta ne voitaisiin löytää havaitsemisprosessin aikana. Kun havaitseminen on tehty, osoitteet voidaan uudelleenohjelmoida automaattisesti tuotettujen sijaan, mikäli laitteille halutaan muu osoitejärjestys selvyiden vuoksi. [70.] Järjestelmän ohjelmoinnissa on selvä etu: uudelleenjohtotusta ei tarvita. [55, s. 474.] Ohjelmoinnin etu alleviivaa tavallaan DALI:n perusajatuksia, jotka ovat yhteensopivuus ja -toimivuus sekä joustavuus.

6.2.2 DALI 2

DALI:a kehittävä työryhmä tuo parhaillaan ulos standardin paranneltua versiota nimeltä DALI 2. Uutta versiota julkaistaan pala kerrallaan tarkempine tietoineen kunnes nykyisen DALI-standardin aukot on täytetty. Pääpainona uudessa standardissa on ohjainlaitteiden standardisointi sekä DALI:n ja rakennusautomaatiojärjestelmän soveltaminen yhdessä. Standardi määrittää perustavanlaatuisia vaatimuksia ohjainlaitteille (yksittäin- ja yhteisesti verkossa toimivat ohjainlaitteet, ”multi-/single master”) ja niihin liitettäville ohjausrajapinnoille täten lisäten yhteentoimivuutta. [73.]

Parannukset sisältävät aiempaa enemmän valon väriohjausta kattaen sekä RGB-ohjauksen että värilämpötilan säädön. Lisäksi DALI:n kaksisuuntaista tiedonsiirtoa kehitetään tärkeiden paluutietojen osalta muun muassa valaisimien energiankulutuksen tarkempaan seurantaan ja esimerkiksi ledilamppujen lämpötilan tarkkailuun, mikä vaikuttaa suoraan niiden käyttöikänsä. [71; 73.] Näin DALI 2-standardi kattaa aiempaa enemmän valon ominaisuuksien muokkausta unohtamatta energianhallinnallista näkökulmaa.

Valaistusjärjestelmän yksinkertaistamisen sekä ohjelmoinnin- ja valaistuskokoonpanojen joustavuuden lisäämiseksi DALI 2 mahdollistaa myös 128 osoitteen asettamisen yhdelle DALI-väylälle (aiemman 64:n sijaan). Erityisesti osoitteiden lisäämisen taustalla on ohjausrajapintojen kuten sensoreiden (valoisuus, läsnäolo) ja ohjauspaneelien painoarvon kasvaminen standardissa sekä järjestelmän laajentamisen mahdollisuus. [73.]

7 Ohjausjärjestelmien vertailu

DALI ja DMX512 on luotu eri tarpeisiin, joten ne ovat ratkaisuja eri kysymyksiin. Vaikka molemmat ovat valaistuksen ohjauksen näkökulmasta yksinkertaisesti digitaalisia protokollia niillä on lähes enemmän eroavaisuuksia kuin yhtäläisyyksiä. DALI:n vaatimukset ovat olleet muunneltavuus, yksilöllinen ohjattavuus, valaisimilta saatavien paluutietojen hyödyntäminen ja mahdollisuus yhdistää sensoreita sekä muita sovelluskohtaisia varusteita. [70.]

DALI:n kehityksen painopiste on alun alkujaan ollut tehokkaan loistelamppuvalaistuksen luominen julkisiin tiloihin, joissa ihmiset ovat töissä tai viettävät muuten aikaa. [55, s. 502.] Määräävässä asemassa DALI:n kehityksessä on ollut yhteensopivuus, yksinkertaisuus ja joustavuus. DALI-valaistuksen skaala on laajentunut sittemmin loistelamppujen liitännälaitteista myös ledi- ja halogeenilamppuihin. DMX512 on vastaavasti peräisin teatterimaailmasta, mikä näkyy edelleen protokollan suuntautumisena valaistuksen erikoiskohteisiin. Kohteet voivat olla hyvin monimuotoisia ja vaativia, joita DALI:lla ei voida toteuttaa. Tällaisina mainittakoon vaikkapa mediajulkisivut, joihin ainut sopiva standardiprotokolla on DMX512. Perinteisesti DMX512 on painottunut valon intensiteetin ja värin ohjaukseen (RGB) sekä myöhemmin myös valon liikkeen ynnä muiden erikoistoimintojen suuntaan.

Taulukko 8 kiteyttää DALI:n ja DMX512:n fundamentaalisia eroavaisuuksia, joiden muodostamalle vertailupohjalle lisätään jäljempänä erityishuomioita.

Taulukko 8. DALI:n ja DMX512:n ominaisuuksia rinnakkain [55, s. 472, muokattu].

Ominaisuus	DALI	DMX512
Tiedonsiirto (toisiinsa verrattuna)	Hidas	Nopea
Osoitteita universumissa	64	512
Ryhmäosoitteita	16	Ei
Useita yksiköitä samassa osoitteessa	Ei	Kyllä
Asennustopologia	Vapaa	Sarjaan kytkentä
Automaattinen osoitteistus	Kyllä	Ei
Logaritminen säätö (himmennys, kirkastus)	Kyllä	Ei
Ohjauspiirin polariteetti	Vapaa	Rajattu
Keskitetty ohjaus	Ei	Kyllä
Hajautettu ohjaus	Kyllä	Ei
Kaapelointi	Joustava	Tarkka (Vähintään Cat5)
Päätevastus	Ei	Kyllä

Yksi olennaisimmista vertailukohdista on edellisessä taulukossakin ensimmäisenä mainittu tiedonsiirron nopeus. Kuinka äkkiä valaistuksen on tarpeen reagoida ohjaukseen? Toisin sanoen, täytyykö valojen reagoida ohjaukseen käytännössä reaaliajassa vai onko valaistuksen onnistumisen kannalta haittaa, vaikka toiminnot tapahtuvat viiveellä? DMX-ohjaus on omiaan valaistukselle, jonka toiminnalta edellytetään nopeutta ja synkronisuutta. 250 kbit/s on valaistusteknillisesti korkea tiedonsiirtonopeus, joka mahdollistaa laajan valaistusjärjestelmän saumattoman toiminnan. Jopa 500 laitetta kattavan universumin kaikki valaisimet päivittyvät 23 millisekunnin välein (mikäli korkein mahdollinen päivitystaajuus saavutetaan). DMX512 on valaistuksessa hyödyllinen, kun tarvitaan tarkkaa valon intensiteetin tai värin vaihtoa sekä erityisesti kun ohjattavana on suuri valaisinmäärä tarkasti ajoitettuna (valoshow't, "taidevalaistus"). Nopeana protokollana DMX:llä onnistuu niin hitaat kuin nopeatkin muutokset täsmällisesti ja synkronisoidusti, mikä on puolestaan DALI:lla käytännössä mahdotonta. [30.]

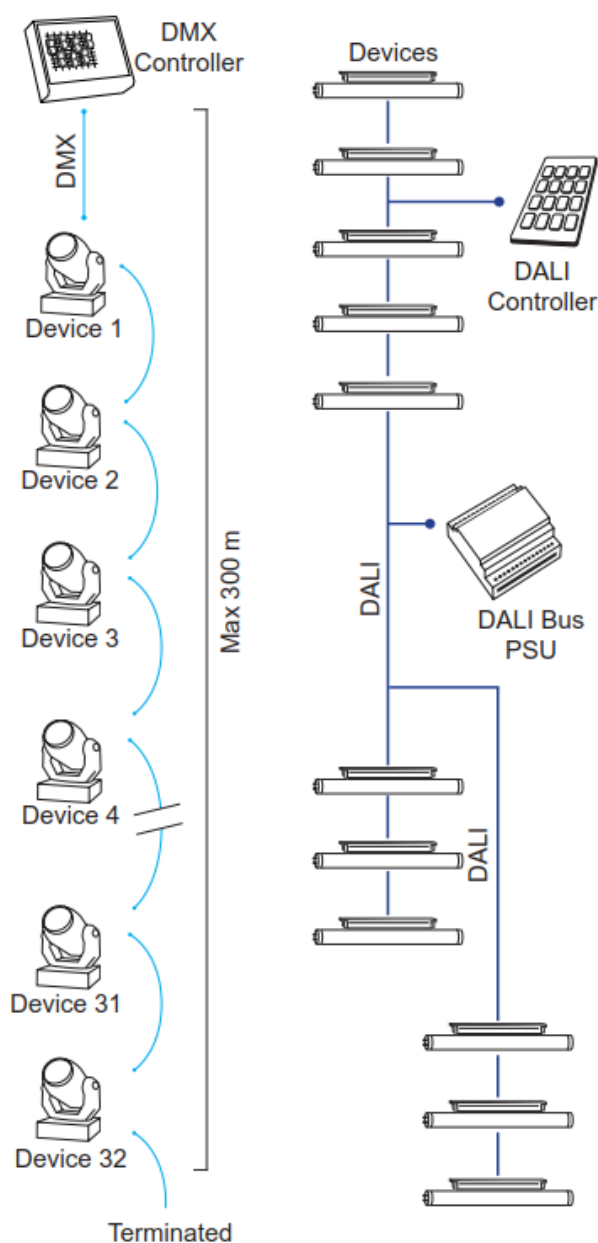
Hitaamman 1,2 kbit/s tiedonsiirron johdosta DALI tarvitsee noin 16 ms yhden valaisimen päivittämiseen, mikä tarkoittaa koko järjestelmän (64 laitetta) valaisimien päivittämistä hiukan yli sekunnissa. Kuten edellä todettiin, DALI on suunnattu kiinteistöjen yleisvalaistukseen, joiden valaistuksen luomaa tunnelmaa ei ole tarkoituksenmukaista vaihtaa jatkuvasti kuten näyttämöillä on tapana. DALI-ohjaus onkin käskyluontoinen DMX512:n ollessa puolestaan jatkuva (streaming). Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että DALI-väylällä liikkuu dataa vain kun painiketta painetaan, sensori tunnistaa jotain tai valaistusta ohjataan muuten manuaalisesti. DMX512-linjalla liikkuu jatkuvasti dataa, vaikka itse valaistustilanteeseen ei tulisikaan muutosta. DMX on tavallaan "valmiina" jatkuvaan muutokseen kun taas DALI:n voisi nähdä olevan valmiustilassa, josta se käskyn saatuaan herää ja alkaa toimia. DALI:n suhteelliseen hitauteen vaikuttaa myös datapakettien muoto, jonka vuoksi 64 valaisimen päivittämiseksi täytyy lähettää 64 eri käskyä, ellei ryhmä- tai yleislähetystä (broadcast) oteta lukuun. DALI ei siis sovi luonteeltaan nopeasti muuttuvaan ja monimuotoiseen valaistukseen. Hitaus ei sinänsä juuri haittaa, mikäli halutaan vain säätää valaistustasoja tai kytkeä valoja päälle ja pois. DALI:n Manchester-koodattu dataliikenne mahdollistaa myös tiedonsiirron virheiden havaitsemisen, mitä puolestaan ei ole DMX512:lla, jonka korkea päivitystaajuus tosin kompensoi puutetta. [49, s. 291, 294.]

Tiedonsiirron nopeuden lisäksi olennainen eroavaisuus löytyy vertailukohteiden osoitteiden määrästä ja kommunikoinnin olemuksesta. DMX512-universumissa on 512 osoitetta kun DALI:lla puolestaan vastaava luku on 64 (Huom. DALI 2:n tuleva vaikutus). Osoitteiden määrän vuoksi RGB-ohjaus on DALI:lla hyvin rajoitteellista verrattuna DMX512:n, kunkin värin viedessä yhden osoitteen. Esimerkiksi 10 RGB-valaisimen värien ohjaus syö yksinään miltei puolet DALI-väylän kapasiteetista. DALI puolestaan mahdollistaa kaksisuuntaisen kommunikoinnin eli ohjattavilta laitteilta voidaan saada paluudataa esimerkiksi tilatietojen ja käyttötuntien muodossa. Kaksisuuntaisuuden vuoksi myös valaisimien osoitteistaminen on mahdollista tehdä ohjelmallisesti, etänä. DMX512 ei ole lähökohtaisesti kaksisuuntainen tiedonsiirtoprotokolla. Ohjainlaite siis lähettää dataa valaisimille, muttei tiedä vastaanottavatko ne tietoja ollenkaan. Osoitteiden asettaminen on myös epäkäytännöllistä, koska se on tehtävä manuaalisesti kuhunkin vastaanottajaan näppäilemällä. Kaksisuuntaisen tiedonsiirron puute on DMX512:n kohdalla tosin hiljalleen häviävä rajoite RDM-tekniikan yleistyessä jatkuvasti. [51.] Sekä DALI- että DMX-RDM-järjestelmiä varten on nykyisin saatavilla käsikäyttöisiä laitteita, joiden avulla järjestelmän käyttöönotto ja testaaminen on helpottunut entisestään. Laitteista mainittakoon esimerkkeinä Artistic Licencen Dali-Scope ja Swissonin RDM Controller/DMX Tester XMT-350 (kuva 19).



Kuva 19. Swisson XMT-350 on käsikäyttöinen RDM-ohjain ja DMX-testeri. Laitteen avulla voidaan lähettää RDM-viestejä sekä DMX-osoitteita voidaan asettaa etänä. DMX- ja RDM-signaaleja voidaan lähettää esimerkiksi testaustarkoituksessa ja näytöltä voi lukea vastaanottajien lähettämiä tilatietoja. [74.]

Vertailukohteiden mahdollistamat topologiat voidaan nähdä niin haasteina kuin esteinäkin. DMX512 on ehdottomasti kaapeloitava linjaan, sarjaan kytkennän omaisesti, kun puolestaan DALI:n topologia on vapaampi kuvan 20 tapaan. DALI-väylä voi kulkea eri suuntiin tai haarautua kun taas DMX512:n kohdalla haaroittaminen vaatii erityisiä laitteita (splitterit). Siten DMX-linjan muokkaaminen edellyttää tarkkaavaisuutta ja kasvattaa järjestelmän kokonaiskustannuksia laitehankintojen takia.



Kuva 20. DMX512 ja DALI eroavat toisistaan muun muassa topologiensa mukaan [70].

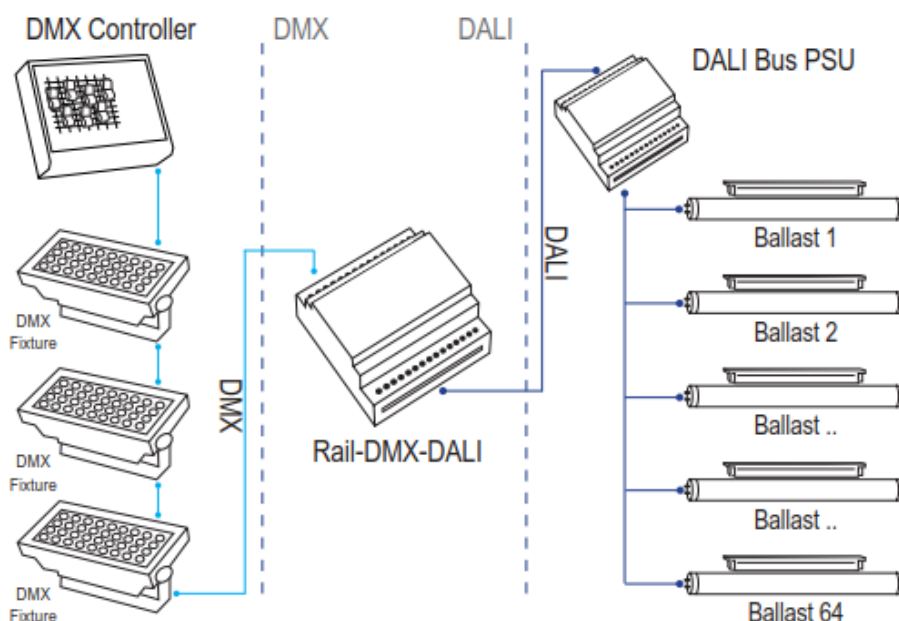
Topologiansa lisäksi DMX512 on tarkka käytettävien kaapeleiden ja liitinten suhteen. Korkea tiedonsiirtonopeus edellyttää yhteyksiltään paljon. [55, s. 502.] DMX ei ole yhtä joustava kaapeloinnin suhteen kuin DALI, vaikka Cat-kaapelia voidaankin datakaapeloinnissa käyttää aidon DMX-kaapelin sijaan. DMX on vaativampi kaapelin laadun ja suojauksen suhteen, mikä voi näkyä järjestelmän kokonaiskustannuksissa. [70.] Johtimien kytkennässä tulee DMX:n kohdalla noudattaa erityistä varovaisuutta, mihin ei tarvitse niin kiinnittää huomiota DALI:a asennettaessa. DALI-ohjauspiiri vaatii vain kaksi johdinta, joilla ei ole napaisuutta (polariteettia). Täten johtimien kytkentävirheitä ei juuri tapahdu. Kaapelin ei tarvitse myöskään olla DMX-kaapelin tavoin suojattu tai kierretty. [69, s. 21.] Kaapeloinnin yksinkertaisuuden vuoksi DALI-järjestelmän asennus ei vaadi samankaltaista tuntemusta kuin DMX512:n, jonka pääsääntöisesti viisinapaisen ohjauskaapelin johtimien kytkennällä on eri tavalla merkitystä järjestelmän toiminnan kannalta. Saavutukseen johdotuksen joustavuuden, DALI:n ohjaussignaali on nimellisjännitteeltään korkeampia kuin DMX512:n (16 V, 6 V). Korkea jännite vähentää signaalihäiriöitä ja liiallisen jännitealeneman riskiä. Vedettävien kaapeleiden maksimipituuksista on montaa tietoa varsinkin DMX512:n eri kaapelivalmistajien kohdalla. Yleisesti ottaen noin 300 metriä pidetään ylärajana kommunikoivien laitteiden välillä sekä DMX512:n että DALI:n kohdalla. DMX-linjojen pituuksissa voidaan joustaa valtavasti, mikäli ohjaussignaalia vahvistetaan tai ohjausjärjestelmän runkona käytetään Ethernet-tekniikkaa.

DMX512- ja DALI-kokoonpanojen konkreettisina eroavaisuuksina ovat erilliset virtalähteet ja päätevastukset. DALI-linja vaatii aina virtalähteen, koska ohjainlaitteen ei tarvitse tuottaa linjalle jännitettä. Sähkövirran (korkeintaan 250 mA) tuottajana voi DALI-järjestelmässä olla erillinen virtalähde (kuva 20) tai vastaavasti ohjainlaite, joka soveltuu lähteeksi. DMX512-linjan päihin puolestaan tarvitaan noin 120 Ω päätevastukset, jotta takaisin päin heijastuva signaali ei pääse aiheuttamaan häiriötä. DALI-linjalle päätevastuksia ei tarvita.

Käytännön sovelluksissa, esimerkiksi kiinteistön yleisvalaistuksessa kummankin protokollan käyttäminen omalla vahvuusalueellaan aikaansaanee parhaan tuloksen. Vaikka tulipaloa tai vastaavaa tilannetta varten DALI soveltuu paremmin hätävalaistukseen, koska standardi linjaa hätävalaistuskäytäntöä, jonka johdosta se on huomioitu ohjain- ja liitäntälaitteita sekä valaisimia suunniteltaessa. [69, s. 12.] DMX512:n kohdalla puolestaan eri laitevalmistajat kuten Strand ja Pathway ovat kehittäneet omia ratkaisujaan hätävalaistuksen toteuttamiseksi. Ratkaisut vaativat usein laitevalmistajan omia ohjainlaitteita sekä niihin sopivia valaisimia, koska hätävalaistusta ei ole standardissa käsitelty.

Siten DMX512-hätävalaistuksessa voi syntyä ylimääräisiä kustannuksia sekä yhteensopivuusongelmia valaistusjärjestelmän sisällä. DMX512:n vahvuus näkyy toisaalla: esimerkiksi aulan, neuvotteluhuoneen tai rakennuksen julkisivun haastavamman RGB-valaistuksen luomisessa, jota ei puhtaalla DALI-valaistuksella pystyittäisi toteuttamaan.

Koska viihteellinen, arkkitehtoninen ja kaupallinen valaistus limittyvät jatkuvasti, tarvitaan valaistuskohteisiin yhä enemmän DALI:n ja DMX512:n vahvuuksien yhdistämistä. Integroitua varten on lukuisia ratkaisuja, esimerkkinä Artistic Licencen Rail-DMX-DALI (kuva 21). Laitteen tarkoitus on yhdistää kaksi protokollaa toimimaan keskenään.



Kuva 21. Rail-DMX-DALI toimii rajapintana, jonka avulla DMX-ohjainlaite voi kommunikoida sekä DMX-valaisinten että DALI-liitäntälaitteiden kanssa. [67.]

DALI:n ja DMX512:n yhdistäviä järjestelmiä suunniteltaessa pitää ottaa huomioon protokollien eroavaisuudet kuten nopeudet, ohjauksen tapa ja valaisimien käyttöönotto sekä protokollien fyysiset erityispiirteet. [70.]

Vertailun päätteeksi tulee vielä alleviivata DALI:n ja DMX512:n perustavanlaatuisia eroja: protokollat ovat suunniteltu eri käyttötarkoituksiin. Ensimmäiseltä on edellytetty sekä joustavuutta että yhteensopivuutta kaupallisen ja arkkitehtonisen valaistuksen puolella, korostaen asentamisen ja käyttöönoton yksinkertaisuutta. Jälkimmäinen on sen sijaan sävyttynyt viihdemaailman vaatimuksista, kuten korkeasta kanavakapasiteetista ja -nopeudesta sekä valaisimien erityistoiminnoista.

8 Yhteenveto

Tämän valaistusteknisen insinööri työn päämääränä oli koota tietoa DMX512-ohjausprotokollasta ja verrata löydöksiä olennaisilta osin DALI:in. Työhön tuli sisällyttää lisäksi valaistuksen – pääasiassa DMX512:n – näkökulmaa rakennusautomaatioon. Aiheita pohjustettiin valaistuksen ohjauksen periaatteiden ja energiatehokkuuden käsittelyllä, mitkä nähtiin myös pääasiallisina motiiveina valaistuksen liittämiselle rakennusautomaatiojärjestelmään. Työn lopputuloksesta muodostui DMX512-tietopaketti, joka ottaa kantaa valaistuksen ja rakennusautomaation suhteeseen sekä eri ohjausprotokollien hyödyntämiseen samassa valaistusjärjestelmässä.

Valaistuksen ohjausprotokolliin syventyessä keskinäiset erot tulevat selkeästi esiin, mutta osapuolten vertailu on pitkälti yksittäisten havaintojen ja lähtökohtaisten erojen tasolla. Siinä kiteytyykin DMX512:n ja DALI:n olennainen eroavaisuus: protokollat on suunniteltu eri ongelmien ratkaisuun. DMX512 sopii luonteeltaan erikoisvalaistukseen kuten tarkasti ajoitettuun valon ominaisuuksien vaihteluun sekä suuren valaisinmäärän synkroniseen ohjaamiseen. DALI puolestaan täyttää yleisvalaistuksen tarpeet yksinkertaisuudellaan ja notkeudellaan unohtamatta laajaa sensori- ja käyttöpaneelivalikoimaa.

Tutkimuksen pohjalta johdettujen päätelmien mukaan valaistuksen ohjausprotokollien välistä yhteispeliä tarvitaan, koska eri protokollien hyödyntäminen yksittäisten sovelluskohteiden sisällä yleistyy. Kehitystä ajaa tähän suuntaan keskitetyn ohjauksen ja koko valaistusjärjestelmän monitoroinnin tarjoamat hyödyt kuten hallinnallinen yksinkertaisuus ja energiankulutuksen kokonaiskuvan hahmottaminen. Lisäksi vaikuttavana tekijänä on valaistuskohdeiden monimuotoistuminen: työtilat, kokoushuoneet, aulat ja rakennusten julkisivut sekä yksilölliset henkilöt vaativat erilaista lähestymistapaa valaistuksen toteutukseen – siis myös ohjaukseen. Kiinteistöjen monimuotoisen valaistuksen niputtaminen toimivaksi ja käyttäjiensä etua palvelevaksi valaistusjärjestelmäksi edellyttää vaikkapa juuri DMX512:n ja DALI:n vahvuuksien hyödyntämistä kummallekin luontaisilla osa-alueillaan. Useiden ohjauslaitteiden ja -protokollien käyttäminen laajenevissa valaistussovelluksissa merkitsee nykyisin Ethernet-protokollan soveltamista, mikä lienee myös valaistusalan tulevaisuutta yhä kehittyessään.

Opinnäytetyön aiheen tutkimusta voisi laajentaa juuri ”DMX over Ethernet” -tekniikoiden suunnalle käsitellen niiden mahdollisuuksia ja rajoitteita toisiinsa nähden luvun 7 tapaan. Vain maininnaksi jääneen ACN-standardin kattama alue lienee tulevaisuutta, mikä näkyy

jo standardin seuraajan, RDMnetin valmisteluna. DMX512:n tutkiminen on silti ollut perusteltua: vaikka valaistusjärjestelmien ohjauskommunikointi rakentuisikin rungoltaan ACN:n varaan, monet laitteet järjestelmän sisällä jäävät sen ulkopuolelle. Valtaosa päätelaitteista on kuitenkin mediaservereitä yksinkertaisempia ja edullisempia DMX- tai DMX/RDM-laitteita kuten valaisimia. Täten tulevaisuudessakin tarvitaan yhä rajapintoja, jotka tukevat DMX512-kommunikointia eri protokollien värittämissä valaistusjärjestelmissä.

Lähteet

- 1 American National Standard E1.11 - 2008 (R2013) Entertainment Technology USITT DMX512-A Asynchronous Serial Digital Data Transmission Standard for Controlling Lighting Equipment and Accessories. 2013. PLASA North America. New York, USA: PLASA North America.
- 2 ANSI E1.20 - 2010 Entertainment Technology RDM Remote Device Management Over DMX512 Networks. 2011. PLASA North America. New York, USA: PLASA North America.
- 3 ANSI E1.37-1 - 2012 Additional Message Sets for ANSI E1.20 (RDM) - Part 1, Dimmer Message Sets. 2012. PLASA North America. New York, USA: PLASA North America.
- 4 ANSI E1.37-2 Additional Message Sets for ANSI E1.20 – IPv4 & DNS Configuration Messages. 2015. PLASA North America. New York, USA: PLASA North America.
- 5 Art-Net. 2017. Verkkosivu. Artistic Licence Engineering Ltd. <<http://art-net.org.uk/wordpress/>>. Luettu 17.5.2017.
- 6 Introduction and Terminology. 2017. Verkkosivu. Artistic Licence Engineering Ltd. <http://art-net.org.uk/?page_id=161>. Luettu 17.5.2017.
- 7 Why Art-Net? 2017. Verkkosivu. Artistic Licence Engineering Ltd. <http://art-net.org.uk/wordpress/?page_id=85>. Luettu 17.5.2017.
- 8 Art-Net 4 Specification for the Art-Net 4 Ethernet Communication Protocol. 2017. Verkkodokumentti. <<http://www.artisticlicence.com/WebSiteMaster/User%20Guides/art-net.pdf>>. Luettu 17.5.2017.
- 9 Bennette, Adam. 2008. Recommended Practice for DMX512 - A guide for users and installers. 2nd Edition. Eastbourne, UK: PLASA.
- 10 Bright Finland Oy. 2017. Espoo. Kuva: Eetu Nisula, 13.6.2017.
- 11 Kallioharju, Kari. 2012. DALI-koulutus – teoriaosio. Verkkodokumentti. <http://www.oamk.fi/~kurki/Valaistustekniikka/DALI_teoria_joulu2014.pdf>. Luettu 23.6.2017.
- 12 DMX 101: A DMX512 Handbook. 2008. Verkkodokumentti. Elation Professional. <http://cdb.s3.amazonaws.com/ItemRelatedFiles/10300/dmx101_handbook.pdf>. Luettu 7.4.2017.

- 13 DMX, Ethernet and ArtNet. Verkkodokumentti. ChamSys Ltd.
<<https://www.scribd.com/doc/4021273/MagicQ-DMX-and-Ethernet>>. Luettu 17.5.2017.
- 14 DMX512. 2017. Verkkosivu. United States Institute for Theatre Technology (USITT). <<http://old.usitt.org/DMX512.aspx>>. Luettu 4.4.2017.
- 15 Energiatehokas valaistus vähentää hiilidioksidipäästöjä ja säästää rahaa. 2017. Verkkodokumentti. Suomen Valoteknillinen Seura r.y. <www.valosto.com/tiedostot/Energiatehokas_valaistus.pdf>. Luettu 23.6.2017.
- 16 Kallasjoki, Tapio. 2011. Energiatehokas valaistus. Verkkodokumentti.
<http://www.renewablesb2b.com/data/ahk_finland/publications/files/Kallasjoki.pdf>. Luettu 23.6.2017.
- 17 Greenled Kauppa -sovellusohje. 2016. Verkkodokumentti. Greenled Oy.
<https://greenled.fi/wp-content/uploads/2016/11/gl_kauppa_005_lr.pdf>. Luettu 16.6.2017.
- 18 Greenled Koulu -sovellusohje. 2016. Verkkodokumentti. Greenled Oy.
<https://greenled.fi/wp-content/uploads/2016/11/gl_koulu_006_lr.pdf>. Luettu 16.6.2017.
- 19 Greenled Sairaala -sovellusohje. 2016. Verkkodokumentti. Greenled Oy.
<https://greenled.fi/wp-content/uploads/2016/11/gl_sairaala_005_lr.pdf>. Luettu 16.6.2017.
- 20 Greenled Teollisuus ja Logistiikka -sovellusohje. 2016. Verkkodokumentti. Greenled Oy. <https://greenled.fi/wp-content/uploads/2016/11/gl_teollisuus_5_lr.pdf>. Luettu 20.6.2017.
- 21 Greenled Toimisto -sovellusohje. 2016. Verkkodokumentti. Greenled Oy.
<https://greenled.fi/wp-content/uploads/2016/11/gl_toimisto_006_lr.pdf>. Luettu 16.6.2017.
- 22 Halogeenilamppu. 2017. Verkkosivu. Motiva Oy. <<https://lampputieto.fi/lampunvalinta/alasivu/halogeenilamppu/>>. Luettu 23.6.2017.
- 23 Härkönen, Kalevi. 2015. KNX-järjestelmän perusteet. 2. painos. Helsinki: Sähköinfo Oy.
- 24 Hefter, Mitch. 2017. ANSI E1.11 USITT DMX512-A Task Group Chair, United States Institute for Theatre Technology (USITT). Sähköpostiviesti 3.4.2017.
- 25 Helvar 311 upotettava PIR-liiketunnistin. 2016. Verkkodokumentti. Helvar Oy Ab.
<https://www.helvar.com/media/pd/2017/20170303/311_DATASHEET_FI.pdf>. Luettu 14.6.2017.

- 26 Helvar ILLUSTRIS® - Tyylikäs, monipuolinen käyttöliittymä. 2017. Verkkosivu. Helvar Oy Ab. <<https://www.helvar.com/fi/ratkaisut/digidim/illustris/>>. Luettu 14.6.2017.
- 27 International Institute for Industrial Environmental Economics [IIIEE]. 2016. Circle of Light. The impact of the LED Lifecycle. Lund: IIIEE. Verkkodokumentti. <http://www.iiiee.lu.se/sites/iiiee.lu.se/files/circle_of_light_the_impact_of_the_led_lifecycle_mespom_2016.pdf>. Luettu 23.6.2017.
- 28 Kallasjoki, Tapio. 2017. Suomen Valoteknillinen Seura r.y. Valaistus ja energia. Luento. Valoakatemia. 18.4.2017. Helsinki.
- 29 Kiinteistön energiatehokkaat sähkötekniset ratkaisut. 2012. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/files/7974/Kiinteiston_energiatehokkaat_sahko_tekniset_ratkaisut.pdf>. Luettu 23.6.2017.
- 30 Krogell, Oskar. 2017. Project Designer, Bright Finland Oy. Haastattelu. 13.6.2017. Espoossa Bright Finland Oy:n tiloissa.
- 31 Tamperelainen. 2017. Verkkolehti. <<http://www.tamperelainen.fi/sites/default/files/styles/article/public/tornihotelli.jpg?itok=97etJDZs>>. Luettu 16.6.2017.
- 32 CityCenter. 2012. Verkkosivu. Open Light Spots. <http://openlightspots.com/spot-sol/sites/default/files/spots/VALOA_CityCenter3.JPG>. Luettu 20.6.2017.
- 33 Squarespace. 2017. Verkkosivu. <<http://www.static1.squarespace.com/static/55282743e4b0c8ab5ac1b47c/t/563809b9e4b093d8effd077b/1446513081711>>. Luettu 4.7.2017.
- 34 Butler XT2. 2017. Verkkosivu. Traxon Technologies. <http://www2.traxontechnologies.com/lighting_controls/product_details/10355/Butler%20XT2>. Luettu 4.7.2017.
- 35 Inno Pocket Z4. 2017. Verkkosivu. ADJ Products, LLC. <<http://www.adj.com/inno-pocket-z4>>. Luettu 7.4.2017.
- 36 Duplex. 2017. Verkkosivu. Wikiwand. <<http://www.wikiwand.com/id/Duplex>>. Luettu 9.6.2017.
- 37 Example of Ethernet link between 2 DMX devices. 2017. Verkkosivu. <http://4.bp.blogspot.com/-E3Valhx5s4I/VUb4eyK88II/AAAAAAAAAPg/4_Wo61-kOTg/s1600/net%2B1.PNG>. Luettu 17.5.2017.
- 38 LED Solutions: Tunable White Module PREMIUM. 2017. Verkkosivu. Tridonic GmbH. <<http://www.tridonic.com/com/en/about-tunable-white.asp>>. Luettu 14.6.2017.

- 39 LMS brochure: A new dimension of light, OSRAM light management systems. 2014. Verkkosivu. OSRAM GmbH. <<https://dsoem.osram.com/knowledge/light-management-systems/>>. Luettu 16.6.2017.
- 40 Lux & Lumen. 2017. Verkkodokumentti. Glamox Group. <<http://www.e-pages.dk/glamox/424/>>. Luettu 4.4.2017.
- 41 Malkiewicz, Kris. 2012. Film Lighting. Ebook. New York, USA: Touchstone.
- 42 Mans, Paul. 2017. Helvar Oy Ab. Sisävalaistustekniikka - Valaistuksen ohjaustavat. Luento. Valoakatemia. 18.4.2017. Helsinki.
- 43 New Products in iC range bring Tunable White. 2014. Verkkosivu. Helvar Oy Ab. <<https://www.helvar.com/en/news/new-products-ic-range-bring-tunable-white/>>. Luettu 14.6.2017.
- 44 OSRAMin elektroniset liitäntälaitteet - valoa pitkään ja energiatehokkaasti. 2017. Verkkosivu. OSRAM GmbH. <http://www.osram.fi/osram_fi/uutiset--tiedot/elektroninen-liitaentaelaite/index.jsp>. Luettu 2.7.2017.
- 45 Plasa in Profile. Verkkosivu. PLASA. <<http://www.plasa.org/about/>>. Luettu 4.4.2017.
- 46 Rajala, Juha. 2017. Tekninen johtaja, Glamox Luxo Lighting Oy. Lighting Solutions 2009-2010. Sähköpostiviestin liitetiedosto 28.3.2017.
- 47 TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). 2008. Verkkosivu. TechTarget SearchNetworking. <<http://searchnetworking.techtarget.com/definition/TCP-IP>>. Luettu 17.5.2017.
- 48 Schiller, Brad. 2016. The Automated Lighting Programmer's Handbook. 3rd Edition. New York, USA: Routledge.
- 49 Simpson, Robert S. 2003. Lighting Control – Technology and Applications. Illustrated Edition. Oxford, UK: Focal Press.
- 50 Sisävalaistus eri tiloissa. 2017. Verkkosivu. Opasmedia Oy. <<http://www.sahkoopas.com/sahkotietoa/valaistus/sisatilat/>>. Luettu 16.6.2017.
- 51 Sourama, Riku. 2017. System Designer, Sun Effects Oy. Haastattelu. 2.6.2017. Helsingissä Sun Effects Oy:n tiloissa.
- 52 Two-minute explainer: Tunable-white LEDs. 2017. Verkkosivu. Lux Magazine UK. <<http://luxreview.com/article/2016/05/two-minute-eplainer-tunable-white-leds>>. Luettu 14.6.2017.

- 53 Ulkovalaistus. 2017. Verkkosivu. Opasmedia Oy.
<<http://www.sahkoopas.com/sahkotietoa/valaistus/ulkovalaistus/>>. Luettu 16.6.2017.
- 54 DMX512 FAQ. 2017. Verkkosivu. United States Institute for Theatre Technology (USITT). <<http://www.usitt.org/faq/#what-is-dmx512>>. Luettu 17.5.2017.
- 55 Uusitalo, Jari. 2017. Teknisen tuen päällikkö, Lighting Solutions, Fagerhult Oy. Indoor Lighting Solutions 2012-2013. Sähköpostiviestin liitetiedosto 27.3.2017.
- 56 Valaistushankintojen energiatehokkuus. 2008. Verkkodokumentti. Suomen Valoteknillinen Seura r.y. <http://www.valosto.com/tiedostot/SVS_Valaistushankintojen_energiatehokkuus_V4.pdf>. Luettu 23.6.2017.
- 57 Valolähteet. 2017. Verkkosivu. Ensto Group. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228387387439/1228387481543/1228396929344.html>>. Luettu 2.7.2017.
- 58 Artnet-DMX converter – Conjunction diagram. 2017. Verkkosivu. Zuhai Ltech Technology Co., Ltd. <<http://www.ltechonline.com/old/english/product/Artnet-DMX.html>>. Luettu 17.5.2017.
- 59 DMX512 Universe. 2013. Creative Commons Licence. <<https://en.wikipedia.org/wiki/DMX512>>. Luettu 9.7.2017.
- 60 Fairhurst, Gorry. Multi-Point Bus, Repeaters and Splitters. 2016. Verkkodokumentti. University of Aberdeen. <<https://erg.abdn.ac.uk/users/gorry/eg3576/multi-drop.html>>. Luettu 9.7.2017.
- 61 e:cue SYMPL Core S Setup Manual. 2016. Verkkodokumentti. OSRAM GmbH. <http://www3.traxontechnologies.com/get_pic/pdf/2906-EN_DE_SYMPL_Core_S_Setup_Manual_v1p0.pdf>. Luettu 11.7.2017.
- 62 ANSI E1.27-2 – 2010 Entertainment Technology – Recommended Practice for Permanently Installed Control Cables for Use with ANSI E1.11 (DMX512-A) and USITT DMX512/1990 Products. 2014. PLASA North America. New York, USA: PLASA North America.
- 63 Volotinen, Vesa. 2006. Digitaalitekniikka – Perusteet ja sovellukset. 4. - 6. painos. Helsinki: WSOY.
- 64 Sandberg, Marian. 2006. Verkkoleden artikkeli. Then And Now: Two Decades Of DMX512. Live Design Online. <http://www.livedesignonline.com/mag/then-and-now-two-decades-dmx512?utm_test=redirect&utm_referrer=>>. Luettu 12.7.2017.

- 65 Lighting Control Protocols (part 2). 2000. Verkkosivu. ESTA. Pathway Connectivity Solutions. <<http://www.pathwayconnect.com/index.php/support/reference-articles/30-lighting-control-protocols-part-2>>. Luettu 12.7.2017.
- 66 SwitchDIM. 2017. Verkkosivu. Glamox Luxo Lighting Oy. <<https://glamox.com/fi/switchdim>>. Luettu 14.7.2017.
- 67 Art-Net Technical Focus 2. 2017. Verkkodokumentti. Artistic Licence Engineering Ltd. <<http://www.artisticlicence.com/WebSiteMaster/Newsletters/focus2.pdf>>. Luettu 18.7.2017.
- 68 Varghese Susan, Kurian Ciji, George V.I. 2015. A study of Communication Protocols and Wireless Networking Systems for Lighting Control Application. Verkkodokumentti. <https://www.researchgate.net/profile/V_George/publication/300416665_A_study_of_communication_protocols_and_wireless_networking_systems_for_lighting_control_application/links/57491c1b08ae5c51e29e6e02/A-study-of-communication-protocols-and-wireless-networking-systems-for-lighting-control-application.pdf?origin=publication_detail>. Luettu 18.7.2017.
- 69 DALI Manual. 2001. Verkkodokumentti. DALI AG (Digital Addressable Lighting Interface Activity Group) of ZVEI, Division Luminaires. <http://www.dali-ag.org/fileadmin/user_upload/pdf/news-service/brochures/DALI_Manual_engl.pdf>. Luettu 18.7.2017.
- 70 The DALI Guide. Versio 3 - 1. Verkkodokumentti. Artistic Licence Engineering Ltd. <<https://www.artisticlicence.com/WebSiteMaster/User%20Guides/the%20dali%20guide.pdf>>. Luettu 19.7.2017.
- 71 Glossop, Andrew. 2015. Verkkolehden artikkeli. DALI 2 what does it mean for you? Helvar Press Releases. <<https://www.helvar.com/en/news/dali-2-what-does-it-mean-you/>>. Luettu 19.7.2017.
- 72 Why DALI? Verkkosivu. DALI AG (Digital Addressable Lighting Interface Activity Group) of ZVEI. <<http://www.dali-ag.org/discover-dali/why-dali.html>>. Luettu 19.7.2017.
- 73 Wade, Scott. 2015. DALI 2 –including standardisation of control devices. 2015. Verkkodokumentti. <http://www.dali-ag.org/fileadmin/user_upload/150610a_DALI_Scott_Wade_Alighting_Guangzhou.pdf>. Luettu 19.7.2017.
- 74 RDM Controller / DMX Tester – XMT-350. 2017. Verkkosivu. Swisson AG. <<https://www.swisson.com/rdm-controller-dmx-tester>>. Luettu 26.7.2017.

RDM-viestityypit

Standardin ANSI E1.20 lopulla määritelty RDM-viestityypit taulukoituna [2, s. 102 – 117].

Appendix A: Defined Parameters (Normative)

START Codes (Slot 0)

SC_RDM 0xCC

RDM Protocol Data Structure ID's (Slot 1)

SC_SUB_MESSAGE 0x01

Broadcast Device UID's

BROADCAST_ALL_DEVICES_ID (Broadcast all Manufacturers) 0xFFFFFFFFFFFF
 ALL_DEVICES_ID (Specific Manufacturer ID 0xmmm) 0xmmmFFFFFFFFF
 SUB_DEVICE_ALL_CALL 0xFFFF

Table A-1: Command Class Defines

RDM Command Classes (Slot 20)	Value	Comment
DISCOVERY_COMMAND	0x10	
DISCOVERY_COMMAND_RESPONSE	0x11	
GET_COMMAND	0x20	
GET_COMMAND_RESPONSE	0x21	
SET_COMMAND	0x30	
SET_COMMAND_RESPONSE	0x31	

Table A-2: Response Type Defines

RDM Response Type (Slot 16)	Value	Comment
RESPONSE_TYPE_ACK	0x00	
RESPONSE_TYPE_ACK_TIMER	0x01	
RESPONSE_TYPE_NACK_REASON	0x02	See Table A-17
RESPONSE_TYPE_ACK_OVERFLOW	0x03	Additional Response Data available beyond single response length.

Table A-3: RDM Categories/Parameter ID Defines

GET Allowed	SET Allowed	RDM Parameter ID's (Slot 21-22)	Value	Comment	Required
		Category – Network Management			
		DISC_UNIQUE_BRANCH	0x0001		✓
		DISC_MUTE	0x0002		✓
		DISC_UN_MUTE	0x0003		✓
✓		PROXIED_DEVICES	0x0010		
✓		PROXIED_DEVICE_COUNT	0x0011		
✓	✓	COMMS_STATUS	0x0015		
		Category - Status Collection			
✓		QUEUED_MESSAGE	0x0020	See Table A-4	
✓		STATUS_MESSAGES	0x0030	See Table A-4	
✓		STATUS_ID_DESCRIPTION	0x0031		
	✓	CLEAR_STATUS_ID	0x0032		
✓	✓	SUB_DEVICE_STATUS_REPORT_THR ESHOLD	0x0033	See Table A-4	
		Category - RDM Information			
✓		SUPPORTED_PARAMETERS	0x0050	* Support required only if supporting Parameters beyond the minimum required set.	✓*
✓		PARAMETER_DESCRIPTION	0x0051	- Support required for Manufacturer-Specific PIDs exposed in SUPPORTED_PARAMETERS message.	✓-
		Category – Product Information			
✓		DEVICE_INFO	0x0060		✓
✓		PRODUCT_DETAIL_ID_LIST	0x0070		
✓		DEVICE_MODEL_DESCRIPTION	0x0080		
✓		MANUFACTURER_LABEL	0x0081		
✓	✓	DEVICE_LABEL	0x0082		
✓	✓	FACTORY_DEFAULTS	0x0090		
✓		LANGUAGE_CAPABILITIES	0x00A0		
✓	✓	LANGUAGE	0x00B0		
✓		SOFTWARE_VERSION_LABEL	0x00C0		✓
✓		BOOT_SOFTWARE_VERSION_ID	0x00C1		
✓		BOOT_SOFTWARE_VERSION_LABEL	0x00C2		
		Category - DMX512 Setup			
✓	✓	DMX_PERSONALITY	0x00E0		
✓		DMX_PERSONALITY_DESCRIPTION	0x00E1		
✓	✓	DMX_START_ADDRESS	0x00F0	* Support required if device uses a DMX512 Slot.	✓*
✓		SLOT_INFO	0x0120		
✓		SLOT_DESCRIPTION	0x0121		
✓		DEFAULT_SLOT_VALUE	0x0122		
		Category – Sensors	0x02xx		
✓		SENSOR_DEFINITION	0x0200		

GET Allowed	SET Allowed	RDM Parameter ID's (Slot 21-22)	Value	Comment	Required
		Category – Dimmer Settings	0x03xx	Future	
		Category – Power/Lamp Settings	0x04xx		
✓	✓	DEVICE_HOURS	0x0400		
✓	✓	LAMP_HOURS	0x0401		
✓	✓	LAMP_STRIKES	0x0402		
✓	✓	LAMP_STATE	0x0403	See Table A-8	
✓	✓	LAMP_ON_MODE	0x0404	See Table A-9	
✓	✓	DEVICE_POWER_CYCLES	0x0405		
		Category - Display Settings	0x05xx		
✓	✓	DISPLAY_INVERT	0x0500		
✓	✓	DISPLAY_LEVEL	0x0501		
		Category – Configuration	0x06xx		
✓	✓	PAN_INVERT	0x0600		
✓	✓	TILT_INVERT	0x0601		
✓	✓	PAN_TILT_SWAP	0x0602		
✓	✓	REAL_TIME_CLOCK	0x0603		
		Category – Control	0x10xx		
✓	✓	IDENTIFY_DEVICE	0x1000		✓
	✓	RESET_DEVICE	0x1001		
✓	✓	POWER_STATE	0x1010	See Table A-11	
✓	✓	PERFORM_SELFTEST	0x1020	See Table A-10	
✓		SELF_TEST_DESCRIPTION	0x1021		
	✓	CAPTURE_PRESET	0x1030		
✓	✓	PRESET_PLAYBACK	0x1031	See Table A-7	
		ESTA Reserved Future RDM Development	0x7FE0-0x7FFF		
		Manufacturer-Specific PIDs	0x8000-0xFFDF		
		ESTA Reserved Future RDM Development	0xFFE0-0xFFFF		

Table A-4: Status Type Defines

Status Type Defines	Value	Comment
STATUS_NONE	0x00	Not allowed for use with GET: QUEUED_MESSAGE
STATUS_GET_LAST_MESSAGE	0x01	
STATUS_ADVISORY	0x02	
STATUS_WARNING	0x03	
STATUS_ERROR	0x04	
STATUS_ADVISORY_CLEARED	0x12	
STATUS_WARNING_CLEARED	0x13	
STATUS_ERROR_CLEARED	0x14	

Table A-5: Product Category Defines

Product Category Defines	MSB Coarse	LSB Fine	Comment
PRODUCT_CATEGORY_NOT_DECLARED	0x00	0x00	
Fixtures – intended as source of illumination			See Note 1
PRODUCT_CATEGORY_FIXTURE	0x01	0x00	No Fine Category declared
PRODUCT_CATEGORY_FIXTURE_FIXED	0x01	0x01	No pan / tilt / focus style functions
PRODUCT_CATEGORY_FIXTURE_MOVING_YOKE	0x01	0x02	
PRODUCT_CATEGORY_FIXTURE_MOVING_MIRROR	0x01	0x03	
PRODUCT_CATEGORY_FIXTURE_OTHER	0x01	0xFF	For example, focus but no pan/tilt.
Fixture Accessories – add-ons to fixtures or projectors			
PRODUCT_CATEGORY_FIXTURE_ACCESSORY	0x02	0x00	No Fine Category declared.
PRODUCT_CATEGORY_FIXTURE_ACCESSORY_COLOR	0x02	0x01	Scrollers / Color Changers
PRODUCT_CATEGORY_FIXTURE_ACCESSORY_YOKE	0x02	0x02	Yoke add-on
PRODUCT_CATEGORY_FIXTURE_ACCESSORY_MIRROR	0x02	0x03	Moving mirror add-on
PRODUCT_CATEGORY_FIXTURE_ACCESSORY_EFFECT	0x02	0x04	Effects Discs
PRODUCT_CATEGORY_FIXTURE_ACCESSORY_BEAM	0x02	0x05	Gobo Rotators / Iris / Shutters / Dousers Beam modifiers.
PRODUCT_CATEGORY_FIXTURE_ACCESSORY_OTHER	0x02	0xFF	
Projectors - light source capable of producing realistic images from another media			Video / Slide / Oil Wheel / Film / LCD
PRODUCT_CATEGORY_PROJECTOR	0x03	0x00	No Fine Category declared.
PRODUCT_CATEGORY_PROJECTOR_FIXED	0x03	0x01	No pan / tilt functions.
PRODUCT_CATEGORY_PROJECTOR_MOVING_YOKE	0x03	0x02	
PRODUCT_CATEGORY_PROJECTOR_MOVING_MIRROR	0x03	0x03	
PRODUCT_CATEGORY_PROJECTOR_OTHER	0x03	0xFF	
Atmospheric Effect – earth/wind/fire			
PRODUCT_CATEGORY_ATMOSPHERIC	0x04	0x00	No Fine Category declared.
PRODUCT_CATEGORY_ATMOSPHERIC_EFFECT	0x04	0x01	Fogger / Hazer / Flame, etc.
PRODUCT_CATEGORY_ATMOSPHERIC_PYRO	0x04	0x02	See Note 2.
PRODUCT_CATEGORY_ATMOSPHERIC_OTHER	0x04	0xFF	
Intensity Control (specifically Dimming equipment)			
PRODUCT_CATEGORY_DIMMER	0x05	0x00	No Fine Category declared.

PRODUCT_CATEGORY_DIMMER_AC_INCANDESCENT	0x05	0x01	AC > 50VAC
PRODUCT_CATEGORY_DIMMER_AC_FLUORESCENT	0x05	0x02	
PRODUCT_CATEGORY_DIMMER_AC_COLD CATHODE	0x05	0x03	High Voltage outputs such as Neon or other cold cathode.
PRODUCT_CATEGORY_DIMMER_AC_NONDIM	0x05	0x04	Non-Dim module in dimmer rack.
PRODUCT_CATEGORY_DIMMER_AC_ELV	0x05	0x05	AC <= 50V such as 12/24V AC Low voltage lamps.
PRODUCT_CATEGORY_DIMMER_AC_OTHER	0x05	0x06	
PRODUCT_CATEGORY_DIMMER_DC_LEVEL	0x05	0x07	Variable DC level output.
PRODUCT_CATEGORY_DIMMER_DC_PWM	0x05	0x08	Chopped (PWM) output.
PRODUCT_CATEGORY_DIMMER_CS_LED	0x05	0x09	Specialized LED dimmer.
PRODUCT_CATEGORY_DIMMER_OTHER	0x05	0xFF	
Power Control (other than Dimming equipment)			
PRODUCT_CATEGORY_POWER	0x06	0x00	No Fine Category declared.
PRODUCT_CATEGORY_POWER_CONTROL	0x06	0x01	Contactors racks, other forms of Power Controllers.
PRODUCT_CATEGORY_POWER_SOURCE	0x06	0x02	Generators
PRODUCT_CATEGORY_POWER_OTHER	0x06	0xFF	
Scenic Drive – including motorized effects unrelated to light source.			
PRODUCT_CATEGORY_SCENIC	0x07	0x00	No Fine Category declared
PRODUCT_CATEGORY_SCENIC_DRIVE	0x07	0x01	Rotators / Kabuki drops, etc. See Note 2.
PRODUCT_CATEGORY_SCENIC_OTHER	0x07	0xFF	
DMX Infrastructure, conversion and interfaces			
PRODUCT_CATEGORY_DATA	0x08	0x00	No Fine Category declared.
PRODUCT_CATEGORY_DATA_DISTRIBUTION	0x08	0x01	Splitters / repeaters / data patch / Ethernet products used to distribute DMX universes.
PRODUCT_CATEGORY_DATA_CONVERSION	0x08	0x02	Protocol Conversion analog decoders.
PRODUCT_CATEGORY_DATA_OTHER	0x08	0xFF	
Audio-Visual Equipment			
PRODUCT_CATEGORY_AV	0x09	0x00	No Fine Category declared.
PRODUCT_CATEGORY_AV_AUDIO	0x09	0x01	Audio controller or device.
PRODUCT_CATEGORY_AV_VIDEO	0x09	0x02	Video controller or display device.
PRODUCT_CATEGORY_AV_OTHER	0x09	0xFF	
Parameter Monitoring Equipment			
			See Note 3.

PRODUCT_CATEGORY_MONITOR	0x0A	0x00	No Fine Category declared.
PRODUCT_CATEGORY_MONITOR_ACLINEPOWER	0x0A	0x01	Product that monitors AC line voltage, current or power.
PRODUCT_CATEGORY_MONITOR_DCPOWER	0x0A	0x02	Product that monitors DC line voltage, current or power.
PRODUCT_CATEGORY_MONITOR_ENVIRONMENTAL	0x0A	0x03	Temperature or other environmental parameter.
PRODUCT_CATEGORY_MONITOR_OTHER	0x0A	0xFF	
Controllers, Backup devices			
PRODUCT_CATEGORY_CONTROL	0x70	0x00	No Fine Category declared.
PRODUCT_CATEGORY_CONTROL_CONTROLLER	0x70	0x01	
PRODUCT_CATEGORY_CONTROL_BACKUPDEVICE	0x70	0x02	
PRODUCT_CATEGORY_CONTROL_OTHER	0x70	0xFF	
Test Equipment			
PRODUCT_CATEGORY_TEST	0x71	0x00	No Fine Category declared.
PRODUCT_CATEGORY_TEST_EQUIPMENT	0x71	0x01	
PRODUCT_CATEGORY_TEST_EQUIPMENT_OTHER	0x71	0xFF	
Miscellaneous			
PRODUCT_CATEGORY_OTHER	0x7F	0xFF	For devices that aren't described within this table.
Manufacturer Specific Categories	0x80 - 0xDF	0x00 - 0xFF	

Note 1: A fixture in this context is defined as a light source intended as a means of illumination. A projector is a light source capable of producing realistic images from another media. A light source intended for use with Fiber Optics should be classified as a fixture.

Note 2: The DMX512 standard specifically states that, as there is no mandatory error checking, DMX512 is not an appropriate control protocol for hazardous applications. RDM may, however, be appropriate for configuration and monitoring purposes.

Note 3: This category is for equipment that has no DMX512 control capability, but uses RDM to provide a data logging or monitoring function.

Table A-6: Product Detail Defines

Product Detail ID Defines	Value	Comment
PRODUCT_DETAIL_NOT DECLARED	0x0000	
Generally applied to fixtures		
PRODUCT_DETAIL_ARC	0x0001	Intended for constant light output.
PRODUCT_DETAIL_METAL_HALIDE	0x0002	

PRODUCT_DETAIL_INCANDESCENT	0x0003	
PRODUCT_DETAIL_LED	0x0004	
PRODUCT_DETAIL_FLUROESCENT	0x0005	
PRODUCT_DETAIL_COLD CATHODE	0x0006	includes Neon/Argon
PRODUCT_DETAIL_ELECTROLUMINESCENT	0x0007	
PRODUCT_DETAIL_LASER	0x0008	
PRODUCT_DETAIL_FLASHTUBE	0x0009	Strobes or other flashtubes
Generally applied to fixture accessories		
PRODUCT_DETAIL_COLORSCROLLER	0x0100	
PRODUCT_DETAIL_COLORWHEEL	0x0101	
PRODUCT_DETAIL_COLORCHANGE	0x0102	Semaphore or other type
PRODUCT_DETAIL_IRIS_DOUSER	0x0103	
PRODUCT_DETAIL_DIMMING_SHUTTER	0x0104	
PRODUCT_DETAIL_PROFILE_SHUTTER	0x0105	hard-edge beam masking
PRODUCT_DETAIL_BARNDOOR_SHUTTER	0x0106	soft-edge beam masking
PRODUCT_DETAIL_EFFECTS_DISC	0x0107	
PRODUCT_DETAIL_GOBO_ROTATOR	0x0108	
Generally applied to Projectors		
PRODUCT_DETAIL_VIDEO	0x0200	
PRODUCT_DETAIL_SLIDE	0x0201	
PRODUCT_DETAIL_FILM	0x0202	
PRODUCT_DETAIL_OILWHEEL	0x0203	
PRODUCT_DETAIL_LCDGATE	0x0204	
Generally applied to Atmospheric Effects		
PRODUCT_DETAIL_FOGGER_GLYCOL	0x0300	Glycol/Glycerin hazer
PRODUCT_DETAIL_FOGGER_MINERAL OIL	0x0301	White Mineral oil hazer
PRODUCT_DETAIL_FOGGER_WATER	0x0302	Water hazer
PRODUCT_DETAIL_CO2	0x0303	Dry Ice/Carbon Dioxide based
PRODUCT_DETAIL_LN2	0x0304	Nitrogen based
PRODUCT_DETAIL_BUBBLE	0x0305	including foam
PRODUCT_DETAIL_FLAME_PROPANE	0x0306	
PRODUCT_DETAIL_FLAME_OTHER	0x0307	
PRODUCT_DETAIL_OLEFACTORY_STIMULATOR	0x0308	Scents

PRODUCT_DETAIL_SNOW	0x0309	
PRODUCT_DETAIL_WATER_JET	0x030A	Fountain controls etc
PRODUCT_DETAIL_WIND	0x030B	Air Mover
PRODUCT_DETAIL_CONFETTI	0x030C	
PRODUCT_DETAIL_HAZARD	0x030D	Any form of pyrotechnic control or device.
Generally applied to Dimmers/Power controllers		See Note 1
PRODUCT_DETAIL_PHASE_CONTROL	0x0400	
PRODUCT_DETAIL_REVERSE_PHASE_CONTROL	0x0401	includes FET/IGBT
PRODUCT_DETAIL_SINE	0x0402	
PRODUCT_DETAIL_PWM	0x0403	
PRODUCT_DETAIL_DC	0x0404	Variable voltage
PRODUCT_DETAIL_HFBALLAST	0x0405	for Fluroescent
PRODUCT_DETAIL_HFHV_NEONBALLAST	0x0406	for Neon/Argon and other coldcathode.
PRODUCT_DETAIL_HFHV_EL	0x0407	for Electroluminscent
PRODUCT_DETAIL_MHR_BALLAST	0x0408	for Metal Halide
PRODUCT_DETAIL_BITANGLE_MODULATION	0x0409	
PRODUCT_DETAIL_FREQUENCY_MODULATION	0x040A	
PRODUCT_DETAIL_HIGHFREQUENCY_12V	0x040B	as commonly used with MR16 lamps
PRODUCT_DETAIL_RELAY_MECHANICAL	0x040C	See Note 1
PRODUCT_DETAIL_RELAY_ELECTRONIC	0x040D	See Note 1, Note 2
PRODUCT_DETAIL_SWITCH_ELECTRONIC	0x040E	See Note 1, Note 2
PRODUCT_DETAIL_CONTACTOR	0x040F	See Note 1
Generally applied to Scenic drive		
PRODUCT_DETAIL_MIRRORBALL_ROTATOR	0x0500	
PRODUCT_DETAIL_OTHER_ROTATOR	0x0501	includes turntables
PRODUCT_DETAIL_KABUKI_DROP	0x0502	
PRODUCT_DETAIL_CURTAIN	0x0503	flown or traveller
PRODUCT_DETAIL_LINESET	0x0504	
PRODUCT_DETAIL_MOTOR_CONTROL	0x0505	
PRODUCT_DETAIL_DAMPER_CONTROL	0x0506	HVAC Damper
Generally applied to Data Distribution		
PRODUCT_DETAIL_SPLITTER	0x0600	Includes buffers/repeaters
PRODUCT_DETAIL_ETHERNET_NODE	0x0601	DMX512 to/from Ethernet

PRODUCT_DETAIL_MERGE	0x0602	DMX512 combiner
PRODUCT_DETAIL_DATAPATCH	0x0603	Electronic Datalink Patch
PRODUCT_DETAIL_WIRELESS_LINK	0x0604	radio/infrared
Generally applied to Data Conversion and Interfaces		
PRODUCT_DETAIL_PROTOCOL_CONVERTOR	0x0701	D54/AMX192/Non DMX serial links, etc to/from DMX512
PRODUCT_DETAIL_ANALOG_DEMULTIPLEX	0x0702	DMX to DC voltage
PRODUCT_DETAIL_ANALOG_MULTIPLEX	0x0703	DC Voltage to DMX
PRODUCT_DETAIL_SWITCH_PANEL	0x0704	Pushbuttons to DMX or polled using RDM
Generally applied to Audio or Video (AV) devices		
PRODUCT_DETAIL_ROUTER	0x0800	Switching device
PRODUCT_DETAIL_FADER	0x0801	Single channel
PRODUCT_DETAIL_MIXER	0x0802	Multi-channel
Generally applied to Controllers, Backup devices and Test Equipment		
PRODUCT_DETAIL_CHANGEOVER_MANUAL	0x0900	requires manual intervention to assume control of DMX line
PRODUCT_DETAIL_CHANGEOVER_AUTO	0x0901	may automatically assume control of DMX line
PRODUCT_DETAIL_TEST	0x0902	test equipment
Could be applied to any category		
PRODUCT_DETAIL_GFI_RCD	0x0A00	device includes GFI/RCD trip
PRODUCT_DETAIL_BATTERY	0x0A01	device is battery operated
PRODUCT_DETAIL_CONTROLLABLE_BREAKER	0x0A02	
Manufacturer Specific Types	0x8000-0xDFFF	
PRODUCT_DETAIL_OTHER	0x7FFF	for use where the Manufacturer believes that none of the defined details apply.

Note 1: Products intended for switching 50V AC / 120V DC or greater should be declared with a Product Category of PRODUCT_CATEGORY_POWER_CONTROL.

Products only suitable for extra low voltage switching (typically up to 50VAC / 30VDC) at currents less than 1 ampere should be declared with a Product Category of PRODUCT_CATEGORY_DATA_CONVERSION.

Please refer to GET: DEVICE_INFO and Table A-5 for an explanation of Product Category declaration.

Note 2: Products with TTL, MOSFET or Open Collector Transistor Outputs or similar non-isolated electronic outputs should be declared as PRODUCT_DETAIL_SWITCH_ELECTRONIC. Use of PRODUCT_DETAIL_RELAY_ELECTRONIC shall be restricted to devices whereby the switched circuits are electrically isolated from the control signals.

Table A-7: Preset Playback Defines

Preset Playback Defines	Value	Comment
PRESET_PLAYBACK_OFF	0x0000	Returns to Normal DMX512 Input
PRESET_PLAYBACK_ALL	0xFFFF	Plays Scenes in Sequence if supported.
PRESET_PLAYBACK_SCENE	0x0001-0xFFFE	Plays individual Scene #

Table A-8: Lamp State Defines

Lamp State Defines	Value	Comment
LAMP_OFF	0x00	No demonstrable light output
LAMP_ON	0x01	
LAMP_STRIKE	0x02	Arc-Lamp ignite
LAMP_STANDBY	0x03	Arc-Lamp Reduced Power Mode
LAMP_NOT_PRESENT	0x04	Lamp not installed
LAMP_ERROR	0x7F	
Manufacturer-Specific States	0x80 – 0xDF	

Table A-9: Lamp On Mode Defines

Lamp Mode Defines	Value	Comment
LAMP_ON_MODE_OFF	0x00	Lamp Stays off until directly instructed to Strike.
LAMP_ON_MODE_DMXX	0x01	Lamp Strikes upon receiving a DMX512 signal.
LAMP_ON_MODE_ON	0x02	Lamp Strikes automatically at Power-up.
LAMP_ON_MODE_AFTER_CAL	0x03	Lamp Strikes after Calibration or Homing procedure.
Manufacturer-Specific Modes	0x80 – 0xDF	

Table A-10: Self Test Defines

Self Test Defines	Value	Comment
SELF_TEST_OFF	0x00	Turns Self Tests Off
Manufacturer Tests	0x01 – 0xFE	Various Manufacturer Self Tests
SELF_TEST_ALL	0xFF	Self Test All, if applicable

Table A-11: Power State Defines

Power State Defines	Value	Comment
POWER_STATE_FULL_OFF	0x00	Completely disengages power to device. Device can no longer respond.
POWER_STATE_SHUTDOWN	0x01	Reduced power mode, may require device reset to return to normal operation. Device still responds to messages.
POWER_STATE_STANDBY	0x02	Reduced power mode. Device can return to NORMAL without a reset. Device still responds to messages.
POWER_STATE_NORMAL	0xFF	Normal Operating Mode.

Table A-12: Sensor Type Defines

Sensor Type Defines	Value	Comment
SENS_TEMPERATURE	0x00	
SENS_VOLTAGE	0x01	
SENS_CURRENT	0x02	
SENS_FREQUENCY	0x03	
SENS_RESISTANCE	0x04	Eg: Cable resistance
SENS_POWER	0x05	
SENS_MASS	0x06	Eg: Truss load Cell
SENS_LENGTH	0x07	
SENS_AREA	0x08	
SENS_VOLUME	0x09	Eg: Smoke Fluid
SENS_DENSITY	0x0A	
SENS_VELOCITY	0x0B	
SENS_ACCELERATION	0x0C	
SENS_FORCE	0x0D	

SENS_ENERGY	0x0E	
SENS_PRESSURE	0x0F	
SENS_TIME	0x10	
SENS_ANGLE	0x11	
SENS_POSITION X	0x12	E.g.: Lamp position on Truss
SENS_POSITION Y	0x13	
SENS_POSITION Z	0x14	
SENS_ANGULAR_VELOCITY	0x15	E.g.: Wind speed
SENS_LUMINOUS_INTENSITY	0x16	
SENS_LUMINOUS_FLUX	0x17	
SENS_ILLUMINANCE	0x18	
SENS_CHROMINANCE_RED	0x19	
SENS_CHROMINANCE_GREEN	0x1A	
SENS_CHROMINANCE_BLUE	0x1B	
SENS_CONTACTS	0x1C	E.g.: Switch inputs.
SENS_MEMORY	0x1D	E.g.: ROM Size
SENS_ITEMS	0x1E	E.g.: Scroller gel frames.
SENS_HUMIDITY	0x1F	
SENS_COUNTER_16BIT	0x20	
SENS_OTHER	0x7F	
Manufacturer-Specific Sensors	0x80 – 0xFF	

Table A-13: Sensor Unit Defines

Sensor Unit Defines	Value	Table A-12 Reference
UNITS_NONE	0x00	CONTACTS
UNITS_CENTIGRADE	0x01	TEMPERATURE
UNITS_VOLTS_DC	0x02	VOLTAGE
UNITS_VOLTS_AC_PEAK	0x03	VOLTAGE
UNITS_VOLTS_AC_RMS	0x04	VOLTAGE
UNITS_AMPERE_DC	0x05	CURRENT
UNITS_AMPERE_AC_PEAK	0x06	CURRENT
UNITS_AMPERE_AC_RMS	0x07	CURRENT
UNITS_HERTZ	0x08	FREQUENCY / ANG_VEL
UNITS_OHM	0x09	RESISTANCE
UNITS_WATT	0x0A	POWER
UNITS_KILOGRAM	0x0B	MASS
UNITS_METERS	0x0C	LENGTH / POSITION
UNITS_METERS_SQUARED	0x0D	AREA
UNITS_METERS_CUBED	0x0E	VOLUME
UNITS_KILOGRAMMES_PER_METER_CUBED	0x0F	DENSITY
UNITS_METERS_PER_SECOND	0x10	VELOCITY
UNITS_METERS_PER_SECOND_SQUARED	0x11	ACCELERATION
UNITS_NEWTON	0x12	FORCE
UNITS_JOULE	0x13	ENERGY
UNITS_PASCAL	0x14	PRESSURE
UNITS_SECOND	0x15	TIME
UNITS_DEGREE	0x16	ANGLE
UNITS_STERADIAN	0x17	ANGLE
UNITS_CANDELA	0x18	LUMINOUS_INTENSITY
UNITS_LUMEN	0x19	LUMINOUS_FLUX
UNITS_LUX	0x1A	ILLUMINANCE
UNITS_IRE	0x1B	CHROMINANCE
UNITS_BYTE	0x1C	MEMORY
Manufacturer-Specific Units	0x80 – 0xFF	

Table A-14: Sensor Unit Prefix Defines

Sensor Unit Prefix Defines	Value	Description
PREFIX_NONE	0x00	Multiply by 1
PREFIX_DECI	0x01	Multiply by 10^{-1}
PREFIX_CENTI	0x02	Multiply by 10^{-2}
PREFIX_MILLI	0x03	Multiply by 10^{-3}
PREFIX_MICRO	0x04	Multiply by 10^{-6}
PREFIX_NANO	0x05	Multiply by 10^{-9}
PREFIX_PICO	0x06	Multiply by 10^{-12}
PREFIX_FEMPTO	0x07	Multiply by 10^{-15}
PREFIX_ATTO	0x08	Multiply by 10^{-18}
PREFIX_ZEPTO	0x09	Multiply by 10^{-21}
PREFIX_YOCTO	0x0A	Multiply by 10^{-24}
PREFIX_DECA	0x11	Multiply by 10^{+1}
PREFIX_HECTO	0x12	Multiply by 10^{+2}
PREFIX_KILO	0x13	Multiply by 10^{+3}
PREFIX_MEGA	0x14	Multiply by 10^{+6}
PREFIX_GIGA	0x15	Multiply by 10^{+9}
PREFIX_TERRA	0x16	Multiply by 10^{+12}
PREFIX_PETA	0x17	Multiply by 10^{+15}
PREFIX_EXA	0x18	Multiply by 10^{+18}
PREFIX_ZETTA	0x19	Multiply by 10^{+21}
PREFIX_YOTTA	0x1A	Multiply by 10^{+24}

Notes:

When a prefix is used with MEMORY, the multiplier refers to binary multiple. i.e. KILO means multiply by 1024.

When a prefix is used with MASS, note that the UNIT is Kilogram. The prefix PREFIX_MILLI is used to denote grams.

Table A-15: Data Type Defines

Data Type Defines	Value	Description
DS_NOT_DEFINED	0x00	Data type is not defined
DS_BIT_FIELD	0x01	Data is bit packed
DS_ASCII	0x02	Data is a string
DS_UNSIGNED_BYTE	0x03	Data is an array of unsigned bytes
DS_SIGNED_BYTE	0x04	Data is an array of signed bytes
DS_UNSIGNED_WORD	0x05	Data is an array of unsigned 16-bit words
DS_SIGNED_WORD	0x06	Data is an array of signed 16-bit words
DS_UNSIGNED_DWORD	0x07	Data is an array of unsigned 32-bit words
DS_SIGNED_DWORD	0x08	Data is an array of signed 32-bit words
Manufacturer-Specific Data Types	0x80 – 0xDF	

Table A-16 Parameter Description Command Class Defines

Command Class Defines	Value	Description
CC_GET	0x01	PID supports GET only
CC_SET	0x02	PID supports SET only
CC_GET_SET	0x03	PID supports GET & SET

Table A-17: Response NACK Reason Code Defines

Response NACK Reason Codes	Value	Description
NR_UNKNOWN_PID	0x0000	The responder cannot comply with request because the message is not implemented in responder.
NR_FORMAT_ERROR	0x0001	The responder cannot interpret request as controller data was not formatted correctly.
NR_HARDWARE_FAULT	0x0002	The responder cannot comply due to an internal hardware fault.
NR_PROXY_REJECT	0x0003	Proxy is not the RDM line master and cannot comply with message.
NR_WRITE_PROTECT	0x0004	SET Command normally allowed but being blocked currently.
NR_UNSUPPORTED_COMMAND_CLASS	0x0005	Not valid for Command Class attempted. May be used where GET allowed but SET is not supported.
NR_DATA_OUT_OF_RANGE	0x0006	Value for given Parameter out of allowable range or not supported.
NR_BUFFER_FULL	0x0007	Buffer or Queue space currently has no free space to store data.
NR_PACKET_SIZE_UNSUPPORTED	0x0008	Incoming message exceeds buffer capacity.
NR_SUB_DEVICE_OUT_OF_RANGE	0x0009	Sub-Device is out of range or unknown.
NR_PROXY_BUFFER_FULL	0x000A	The proxy buffer is full and can not store any more Queued Message or Status Message responses.

Lisätyt RDM-viestityypit

Standardin E1.20 piiriin myöhemmin lisätyt, useimpien järjestelmien kattamat RDM-viestit [3, s. 32 - 33].

Appendix A: Defined Parameters (Normative)

Table A-1: RDM Parameter ID Defines

GET Allowed	SET Allowed	RDM Parameter ID's (Slot 21-22)	Value	Comment	Required
		Category – DMX512 Setup			
✓	✓	DMX_BLOCK_ADDRESS	0x0140		
✓	✓	DMX_FAIL_MODE	0x0141		
✓	✓	DMX_STARTUP_MODE	0x0142		
		Category – Dimmer Settings			
✓		DIMMER_INFO	0x0340		
✓	✓	MINIMUM_LEVEL	0x0341		
✓	✓	MAXIMUM_LEVEL	0x0342		
✓	✓	CURVE	0x0343		
✓		CURVE_DESCRIPTION	0x0344	* Support required only if CURVE is supported.	✓*
✓	✓	OUTPUT_RESPONSE_TIME	0x0345		
✓		OUTPUT_RESPONSE_TIME_DESCRIPTION	0x0346	* Support required only if OUTPUT_RESPONSE_TIME is supported.	✓*
✓	✓	MODULATION_FREQUENCY	0x0347		
✓		MODULATION_FREQUENCY_DESCRIPTION	0x0348	* Support required only if MODULATION_FREQUENCY is supported.	✓*
		Category – Power/Lamp Settings			
✓	✓	BURN_IN	0x0440		
		Category – Configuration			
✓	✓	LOCK_PIN	0x0640		
✓	✓	LOCK_STATE	0x0641		
✓		LOCK_STATE_DESCRIPTION	0x0642	* Support required only if LOCK_STATE is supported.	✓*
		Category – Control			
✓	✓	IDENTIFY_MODE	0x1040		
✓		PRESET_INFO	0x1041		
✓	✓	PRESET_STATUS	0x1042		
✓	✓	PRESET_MERGEMODE	0x1043	See Table A-3	
✓	✓	POWER_ON_SELF_TEST	0x1044		

Table A-2: Preset Programmed Defines

Preset Programmed Defines	Value	Comment
PRESET_NOT_PROGRAMMED	0x00	Preset Scene not programmed.
PRESET_PROGRAMMED	0x01	Preset Scene programmed
PRESET_PROGRAMMED_READ_ONLY	0x02	Preset Scene Read-Only, Factory Programmed

Table A-3: Merge Mode Defines

Merge Mode Defines	Value	Comment
MERGEMODE_DEFAULT	0x00	Preset overrides DMX512 default behavior as defined in E1.20 PRESET_PLAYBACK.
MERGEMODE_HTP	0x01	Highest Takes Precedence on slot by slot basis
MERGEMODE_LTP	0x02	Latest change takes precedence from Preset or DMX512 on a slot by slot basis
MERGEMODE_DMX_ONLY	0x03	DMX512 only, Preset ignored
MERGEMODE_OTHER	0xFF	Other (undefined) merge mode

Verkkoasetuksiin liittyvät RDM-viestityypit

Standardin E1.20 jatkoksi määritellyt RDM-viestityypit. Pääasiassa ANSI E1.37-2 kattaa verkkoasetuksia ja IPv4-osoitteellisia laitteita koskevia viestejä. [4, s. 33 – 34.]

Appendix A: Defined Parameters (Normative)

IPV4_UNCONFIGURED

0x00000000

NO_DEFAULT_ROUTE

0x00000000

Table A-1: RDM Parameter ID Defines

GET Allowed	SET Allowed	RDM Parameter ID's (Slot 21-22)	Value	Comment	Required
		Category – IP & DNS Configuration			
✓		LIST_INTERFACES	0x0700	*Support required only if any other PID in Table A-1 is supported	✓☒
✓		INTERFACE_LABEL	0x0701		
✓		INTERFACE_HARDWARE_ADDRESS_TYPE1	0x0702		
✓	✓	IPV4_DHCP_MODE	0x0703		
✓	✓	IPV4_ZEROCONF_MODE	0x0704		
✓		IPV4_CURRENT_ADDRESS	0x0705		
✓	✓	IPV4_STATIC_ADDRESS	0x0706		
	✓	INTERFACE_RENEW_DHCP	0x0707		
	✓	INTERFACE_RELEASE_DHCP	0x0708		
	✓	INTERFACE_APPLY_CONFIGURATION	0x0709	*Support required only if the SET command for any of IPV4_DHCP_MODE, IPV4_ZEROCONF_MODE or IPV4_STATIC_ADDRESS are supported	✓*

GET Allowed	SET Allowed	RDM Parameter ID's (Slot 21-22)	Value	Comment	Required
✓	✓	IPV4_DEFAULT_ROUTE	0x070A		
✓	✓	DNS_IPV4_NAME_SERVER	0x070B		
✓	✓	DNS_HOSTNAME	0x070C		
✓	✓	DNS_DOMAIN_NAME	0x070D		

Table A-2: Additional NACK Reason Codes*

Response NACK Reason Codes	Value	Description
NR_ACTION_NOT_SUPPORTED	0x000B	The parameter data is valid but the SET operation cannot be performed with the current configuration.

*These are in addition to NACK Reason Codes defined in Table A-17 of E1.20

Table A-3: DHCP Mode Defines

DHCP Mode Defines	Value	Description
DHCP_STATUS_INACTIVE	0x00	The IP address was not obtained via DHCP.
DHCP_STATUS_ACTIVE	0x01	The IP address was obtained via DHCP.
DHCP_STATUS_UNKNOWN	0x02	The system cannot determine if the address was obtained via DHCP.